

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-230193

(43)Date of publication of application : 24.08.2001

(51)Int.Cl. H01L 21/027  
G03F 7/20  
G03F 7/207

(21)Application number : 2000-041676

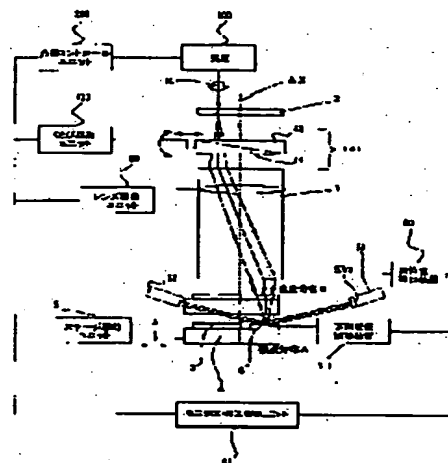
(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 18.02.2000

(72)Inventor : SASAKI AKIRA  
OSAKI YOSHINORI**(54) WAVE FRONT ABERRATION MEASURING METHOD AND PROJECTION ALIGNER****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a wave front aberration measuring method and a projection aligner which can measure precisely the wave front aberration at a high speed for grasping imagery performance of a projection optical system which is changed by an exposing load and environmental change in the projection aligner.

**SOLUTION:** In a wave front measuring method of a projection optical system of a projection aligner wherein a pattern formed on a first object is image- formed on a second object via the projection optical system and exposed to a light, an optical intensity detecting means for measuring optical intensity distribution of a specified pattern on a surface of the first object via the projection optical system, a wave front aberration operating means for the calculating wave front aberration of the projection optical system by using the optical intensity distribution detected by the optical intensity detecting means, and a control means which measures the wave front aberration of the projection optical system in the case that the exposing load and/or the environmental change or the like are measured and these values exceed constant values, are used.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**BEST AVAILABLE COPY**

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the wave aberration measuring method and projection aligner of projection optics which are used at the lithography production process of imprinting the pattern on a mask to a photosensitive substrate through projection optics, manufacturing a semiconductor device.

[0002]

[Description of the Prior Art] At the photolithography production process which manufactures a semiconductor device etc., the projection mold aligner which imprints the circuit pattern formed in the reticle or the photo mask (it is hereafter named a reticle generically) to the semiconductor wafer with which it was applied to the sensitization agent is used.

[0003] In this kind of aligner, it is required that the pattern on a reticle should be correctly imprinted on a wafer for a predetermined scale factor (reduction percentage), and it is becoming important [ using the projection lens with the sufficient image formation engine performance (projection optics) which suppressed aberration ].

[0004] By much more detailed-ized demand of especially a semiconductor device, as a result of having imprinted more often the pattern of the image formation performance limit which can be imprinted with a projection lens, the pattern to imprint is more sensitive to the aberration of optical system in recent years. For the reason, demand of wanting to measure and control the image formation engine performance of a projection lens arises, and various methods are devised to this measurement and control.

[0005] The one method of controlling the image formation engine performance of a projection lens is reported by JP,63-306626,A. The location of the focal field changed when the projection lens absorbed a part of exposure light and temperature changed is controlled by this official report.

[0006] On the other hand, the control method of the exposure aberration of the projection lens which changes with line breadth and lighting is reported by JP,05-315225,A. With a projection aligner (since the angles at which the diffracted light is injected by line breadth and lighting differ, the light passage locations inside a projection lens differ.) By that cause, the temperature rise rate of change inside a projection lens differs, the aberration of projection optics differs, and this official report controls this.

[0007] High NA-ization of a projection lens is called for with the projection aligner for semiconductor device manufacture on the other hand in recent years, and 0.65 or more NA(s) and spec. with a resolution of 0.18 micrometers are desired in the latest projection lens. Moreover, in connection with it, the depth of focus also becomes quite severe with 0.5-0.7 micrometers, and, as for the flattery nature of a focal field, the precision of 0.05 micrometers or less is demanded.

[0008] The need of also controlling the aberration delicately changed by the exposure light absorption of projection optics has arisen in such a condition, and the demand of wanting to measure the image formation engine performance of the projection lens which changes with not measurement but exposure with emphasis on a focus which is seen by two official reports mentioned above came out.

[0009] For that reason, the need of measuring and controlling fluctuation of not only a focus but many of other aberration (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion,

etc.) has arisen, and measurement of wave aberration including all aberration information is needed as a means for controlling many aberration of this projection optics.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The focal detection method stated to JP,63-306626,A is a way detect the quantity of light passed by the relative displacement using the reticle and stage which have arranged the slit, and the maximum of the detection quantity of light determines a focal location.

[0011] Since the quantity of light detecting method is used for this control method, it can ask only for a curvature of field and an image surface inclination. Moreover, since the focal difference (line breadth dependency of a focus) by the pattern line breadth of a reticle cannot be searched for, sufficient focal precision cannot be acquired.

[0012] Moreover, variation  $\Delta F$  of a focus is predicted by searching for beforehand the difference of the pattern used for a focal detection system, and the line breadth used for real exposure by the method by JP,5-315225,A (it being burned on a wafer and measuring), and measuring incidence light exposure  $\Delta I$  in exposure.

[0013] For this reason, a focal detection precision can be burned and will be greatly influenced by the reading precision of a pattern. Moreover, in this official report, it is measurement of only spherical aberration, a focus, and scale-factor change, and all aberration cannot be measured.

[0014] By the method in the two above-mentioned official reports, the focal detecting method by quantity of light detection is used, and sufficient precision for getting to know the image formation engine performance of a projection lens cannot be acquired. Moreover, since measurement of the dependency of pattern line breadth could be burned and has measured the pattern, it is greatly influenced by reading precision. It is very difficult in addition to it, for focal measurement to be main and to measure all other aberration by the two above-mentioned methods.

[0015] Timing of this invention is good in the wave aberration of an exposure load or the projection lens which changes with environmental variations (an atmospheric pressure, atmospheric temperature, humidity, etc.) delicately, and by measuring at a high speed and controlling, it grasps the image formation engine performance of a projection lens with high precision and quickly, and aims at offer of the wave aberration measuring method and projection aligner which can maintain a projection aligner for the good image formation engine performance.

[0016]

[Means for Solving the Problem] In a wave face measuring method of projection optics of a projection aligner which a wave aberration measuring device of invention of claim 1 makes carry out image formation of the pattern formed on the 1st body on the 2nd body through projection optics, and is exposed An optical on-the-strength detection means to measure optical intensity distribution of a specific pattern on this 1st body side through this projection optics, A wave aberration operation means to compute wave aberration of projection optics using optical intensity distribution detected by this optical on-the-strength detection means, When an exposure load, an environmental variation, etc. are measured and the value exceeds constant value, it is characterized by using a control means which measures wave aberration of projection optics.

[0017] Invention of claim 2 is characterized by measuring wave aberration of said projection optics using a phase recovery method in invention of claim 1.

[0018] Invention of claim 3 is characterized by controlling the optical property of said projection optics based on said wave aberration in invention of claim 1.

[0019] Invention of claim 4 is characterized by being wave aberration or/and an image shift by the optical property of said projection optics in invention of claim 3.

[0020] In a wave face measuring method of projection optics of a projection aligner which a wave aberration measuring method of invention of claim 5 makes carry out image formation of the pattern formed on the 1st body on the 2nd body through projection optics, and is exposed An optical on-the-strength detection means to measure optical intensity distribution of a specific pattern on this 1st body side through this projection optics, It is characterized by using a wave aberration operation means to compute wave aberration of projection optics, and a control means which predicts wave aberration of this projection optics from exposure historical data using optical

intensity distribution detected by this optical on-the-strength detection means.

[0021] Invention of claim 6 is characterized by controlling the optical property of this projection optics based on wave aberration of said projection optics in invention of claim 5.

[0022] Invention of claim 7 is characterized by being wave aberration or/and an image shift by the optical property of said projection optics in invention of claim 6.

[0023] In a wave face measuring method of projection optics of a projection aligner which a wave aberration measuring method of invention of claim 8 makes carry out image formation of the pattern formed on the 1st body on the 2nd body through projection optics, and is exposed It is characterized by using a branching means to branch in exposure light and measurement light for optical intensity-distribution detection which expose a pattern on this 1st body on this 2nd body through this projection optics, and a control means which controls the optical property of this projection optics on real time based on wave aberration under exposure.

[0024] Invention of claim 9 is characterized by being wave aberration or/and an image shift by the optical property of said projection optics in invention of claim 8.

[0025] An optical on-the-strength detection means by which a wave aberration measuring method of invention of claim 10 measures optical intensity distribution of a specific pattern on this 1st body side through said projection optics, A wave aberration operation means to compute wave aberration of projection optics using optical intensity distribution detected by this optical on-the-strength detection means, A branching means to branch in exposure light and measurement light for optical intensity-distribution detection which expose this 1st body top pattern on the 2nd body through this projection optics, An optical on-the-strength detection means to measure optical intensity distribution of a specific pattern on this 1st body side through this projection optics, It is characterized by measuring wave aberration of a wave aberration operation means to compute wave aberration of projection optics, and this projection optics under exposure, on real time using optical intensity distribution detected by this optical on-the-strength detection means.

[0026] It is characterized by setting invention of claim 11 to invention of claim 10, and measuring wave aberration of projection optics under exposure on real time using a phase recovery method.

[0027] Invention of claim 12 is characterized by controlling the optical property of said projection optics on real time based on said wave aberration in invention of claim 10.

[0028] Invention of claim 13 is characterized by being wave aberration or/and an image shift by the optical property of said projection optics in invention of claim 10.

[0029] A projection aligner of invention of claim 14 is characterized by using a wave aberration measuring method of any 1 term of claims 1-13.

[0030]

[Embodiment of the Invention] Many aberration (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion, etc.) or the wave aberration itself is controlled by the [operation gestalt 1] book operation gestalt by measuring the wave aberration of a projection lens (projection optics).

[0031] Search for the optical intensity distribution in - image surface with an optical on-the-strength detection means as an exposure load or a measurement means (wave aberration measurement means) of the wave aberration which originates and changes to an environmental variation, and measure wave aberration using a phase recovery method.

[0032] - By measuring light exposure and the relation of wave aberration beforehand, perform only measurement of light exposure at the time of pattern baking, and calculate the amount of wave aberration. It uses.

[0033] Moreover, based on the wave aberration computed by the aforementioned method, it makes it possible to reduce and expose the effect of aberration conventionally by adjusting the wave aberration of a projection lens.

[0034] Exposure with a sufficient alignment precision is enabled by controlling the shift component of the image produced as a result which adjusts the wave aberration of a projection lens in that case.

[0035] Next, the feature of the operation gestalt of this invention is explained.

[0036] Drawing 1 is the important section schematic diagram of the projection aligner of the operation gestalt 1 of this invention. In this drawing, 2 is the reticle (photo mask) of a negative,

projection optics (contraction projection lens) 1 contracts on the wafer 3 on the XYZ stage 4 which is a maintenance means, the circuit pattern on this reticle 2 carries out image formation of it according to it, and exposure is performed.

[0037] Both the projection optics 1 is tele cent racks by the incidence and outgoing radiation side. The XYZ stage 4 is movable in the field which intersects perpendicularly in the direction of an optical axis (Z direction) and the direction of an optical axis of the contraction projection lens 1 (X-Y side), and is controlled by the stage drive unit 5.

[0038] When imprinting a wafer circuit pattern, the flux of light IL from an illumination-light study system illuminates the inside of the screen area where the imprint of the circuit pattern of a reticle 2 is performed.

[0039] 101 is an optical member for aberration control, and it is arranged so that an optical axis AX, and the optical plane of incidence and the irradiation labor attendant when carrying out opposite arrangement of the optical wedges 43 and 44 of two sheets so that it may become a plane-parallel plate as a whole, and considering as a plane-parallel plate may cross at right angles.

[0040] These two optical wedges 43 and 44 are movable in the direction which intersects perpendicularly with the optical axis AX of projection optics 1 relatively, and the thickness of the direction of an optical axis has adjustable. About the details of the optical member 101, it mentions later.

[0041] In drawing 1, the optical on-the-strength detection equipment (optical on-the-strength detection means) 8 with which the upper surface and the height of a wafer 3 have the field which was mostly in agreement in the location contiguous to a wafer 3 is arranged. By calculating the image surface light intensity-distribution data on the wafer side measured by optical on-the-strength detection equipment 8 using the wave aberration arithmetic unit (wave aberration measurement means) 11, the wave face of projection optics 1 is computed with the below-mentioned calculation algorithm.

[0042] 52 and 53 show the element which constitutes the field location detection optical system which detects the field of the optical on-the-strength detection means 8, and the location of the optical-axis AX direction of the 3rd page of a wafer. Among these, 52 is optical system (floodlighting optical system), and it floodlights two or more flux of lights in this drawing in order to check the inclination to the optical axis AX of the field of optical on-the-strength detection equipment 8.

[0043] Each flux of light floodlighted from the floodlighting optical system 52 consists of a non-exposing light, and consists of light which does not expose the photoresist on a wafer 3. And on the predetermined side (or wafer side 3) of optical on-the-strength detection equipment 8, it is condensed respectively and two or more of these flux of lights are reflected.

[0044] Incidence of the flux of light reflected in respect of optical on-the-strength detection equipment 8 is carried out to the detection optical system 53. Each reflected light bunch is made to correspond in the detection optical system 53, and photo detector 53a for two or more location detection is arranged, and it is constituted so that the reflective spot of each flux of light in the light-receiving side of photo detector 53a for each location detection and the field of optical on-the-strength detection equipment 8 may serve as conjugate mostly according to the optical system within detection optical system.

[0045] A location gap of the optical-axis AX direction of the contraction projection lens 1 of the predetermined side in optical on-the-strength detection equipment 8 is measured as a location gap of the incoming beams on photo detector 53a for the location detection within the detection optical system 53.

[0046] A gap of the Z direction (the optical-axis AX direction) from the focal criteria location of the optical on-the-strength detection equipment 8 measured by this detection optical system 53 is computed as field positional information by field location detection equipment 80 based on the output signal from the photo detector for location detection.

[0047] Consequently, the signal over the gap from the focal location actually measured by TTL is inputted into aberration measurement and a control unit 61.

[0048] Aberration measurement and a control unit (control means) 61 give a commander signal to

the stage drive unit 5 for driving the XYZ stage 4 where optical on-the-strength detection equipment 8 was fixed through a signal line. Moreover, when measuring the wave aberration of the projection lens 1, a command is given to the stage control unit 5 with aberration measurement and a control unit 61, and the XYZ stage 4 is driven so that optical on-the-strength detection equipment 8 may displace up and down in the direction of an optical axis of the projection lens 1 (Z direction) near the criteria location of predetermined equipment.

[0049] Here, as optical on-the-strength detection equipment 8 which measures the optical intensity distribution of the specific pattern on the image surface (wafer side), although image sensors, such as a CCD camera, are applicable, it is making the slit prepared on the same field as a wafer side, or knife edge scan in X and the direction of Y, and detecting the amount of transmitted lights in that case with a light-receiving means, and it is also possible to measure the optical intensity distribution of the specific pattern in the image surface.

[0050] Moreover, the optical property (a scale factor, a curvature of field, distortion comatic aberration and astigmatism, \*\*) depending on each field angle of the projection lens 1 is measured by arranging two or more specific patterns in the location of the arbitration of a reticle 2, making the stage 4 in which optical on-the-strength detection equipment 8 was arranged drive in X and the direction of Y, and measuring the pattern reinforcement in two or more locations of arbitration.

[0051] <Wave aberration measurement by the phase recovery method> Next, how to compute the wave aberration of projection optics 1 with a phase recovery method is explained using the projection aligner of the operation gestalt 1 of this invention.

[0052] A phase recovery method is a method used for improvement in the resolution in the optical system of the astronomical telescope with which an electron microscope and big aberration mainly exist, and searches for optical phase distribution of an image from the optical intensity distribution of the image in two or more locations, for example, the image surface, a pupil surface, a defocusing location, etc. And it is the method of computing the wave aberration of optical system from the phase distribution.

[0053] The algorithm of the usual phase recovery method was shown in drawing 2 and drawing 3. First, after giving a phase to arbitration using the optical intensity distribution in the measured image surface, the Fourier transform is carried out and the complex amplitude distribution by the pupil surface is searched for.

[0054] Next, among the acquired complex amplitude distribution, the phase section presupposes that it remains as it is, transposes only the absolute value which hits the section on the strength [ optical ] to the value (square root of the reinforcement in a pupil surface) according to actual measured value, and considers this as new complex amplitude distribution. The inverse Fourier transform of this new complex amplitude distribution is carried out, the complex amplitude distribution on the image surface is searched for, and again, only the phase section is left intact and transposes optical reinforcement to an actual measurement.

[0055] By repeating the above count and performing it, the complex amplitude distribution by the image surface and the pupil surface is computed, and the wave aberration of a projection lens is computed from phase distribution of the complex amplitude distribution by the pupil surface.

[0056] Like a photolithography, when measurement of the optical intensity distribution in the pupil surface of a projection lens is difficult, it is also possible to compute complex amplitude distribution in the image surface and complex amplitude distribution in the defocused field by repeating conversion-inverse transformation between the image surface and a defocusing side through a pupil surface, as shown in drawing 4 and drawing 5, and to search for phase distribution of a pupil, i.e., the wave aberration of a projection lens, from the result.

[0057] In addition, since it is indicated by J.J.A.P Vol.36 1997 pp.7494-7498, this method is omitted for details.

[0058] Next, drawing 1 which is the schematic diagram of the operation gestalt 1 of this invention is used, and how to compute and control the wave aberration of the projection lens 1 is explained with the above-mentioned phase recovery method. The pattern of a reticle 2 is illuminated by the illumination-light bunch IL of exposure wavelength, image formation of that image is carried out on optical on-the-strength detection equipment 8, and these intensity distribution A (optical

intensity distribution in a focal field) are measured with optical on-the-strength detection equipment 8.

[0059] Next, the location of optical on-the-strength detection equipment 8 is changed, and the pattern image on a reticle 2 changes into the condition of having defocused on optical on-the-strength detection equipment 8, and measures the intensity distribution B in this condition (optical intensity distribution in respect of defocusing). According to drawing 4, the wave aberration of a projection lens is computed with the phase recovery method using intensity distribution A and intensity distribution B.

[0060] The Fourier transform of the initial phase of arbitration is given and carried out to intensity distribution A, and, specifically, the complex amplitude distribution by the pupil surface is searched for. Next, after adding amendment to the phase section of the complex amplitude distribution by the pupil surface so that a pupil surface and the defocusing side which measured intensity distribution B may become the relation of the Fourier transform (an image and pupil), the inverse Fourier transform of the complex amplitude distribution is carried out, and the complex amplitude distribution in respect of defocusing is searched for shortly.

[0061] Next, among the complex amplitude distribution in respect of defocusing, after the term of a phase changes into the value based on the actual measurement of the reinforcement in respect of defocusing only the absolute value which is equivalent to a strong term, without changing, the Fourier transform of it is carried out and it searches for complex amplitude distribution of a pupil. After adding amendment to the phase section of the complex amplitude distribution by the pupil surface again so that a pupil surface and a focal field may return to the relation of the Fourier transform, inverse transformation is performed and the complex amplitude distribution in respect of a focus is calculated.

[0062] Here, based on an actual measurement, the Fourier transform only of the strong term is changed and carried out again. The phase distribution by the pupil surface, i.e., the wave aberration of a projection lens, is computed by computing complex amplitude distribution in an image formation location, and carrying out the Fourier transform of the distribution by the above repeats.

[0063] With this operation gestalt, the wave aberration resulting from the exposure load or environmental variation under exposure is measured (here, an environmental variation points out the factor which changes the wave aberration of projection optics, such as atmospheric temperature, an atmospheric pressure, and humidity.).

[0064] Many aberration, such as spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, and distortion, is searched for by changing into the Zernike coefficient the wave aberration coefficient called for by the above-mentioned phase recovery method. Many of these aberration is targeted, projection optics is controlled, and the wave aberration itself is taken at a target, and projection optics is controlled (the control method of these optical properties is explained in full detail later.).

[0065] <Wave aberration measurement timing> Next, the case where wave aberration measurement of this operation gestalt is used in the sequence of actual exposure actuation is explained.

[0066] In real exposure, when [ to which projection optics absorbs exposure light ] it depends especially or environment (atmospheric temperature, an atmospheric pressure, humidity, etc.) changes, the phase change (change of wave aberration) of the pupil surface of projection optics arises. It turns out that light exposure change and an environmental variation, and correlation have this wave aberration change.

[0067] When for the reason light exposure or the amount of environmental variations is measured during exposure with this operation gestalt and the measured value exceeds constant value, a phase recovery method is used, wave aberration is measured, the aberration (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion, etc.) of a target is controlled, and it makes it possible to be able to burn a pattern in the small condition of aberration.

[0068] Here, wave aberration measurement and the sequence of control are explained in full detail using the flow chart of drawing 5.

[0069] First, continuation of exposure and exposure termination is judged for every exposure. Here, if it is continuation of exposure, measurement of light exposure or measurement of the

amount of environmental variations is performed. Here, light exposure is computed from reticle permeability, an illuminance, irradiation time, etc., and the amount of environmental variations is computed from measuring change of an atmospheric pressure, atmospheric temperature, and humidity.

[0070] If this light exposure or the amount of environmental variations is below constant value, exposure is continued, and if it is more than constant value, it shifts to the step of wave aberration measurement.

[0071] In the step of wave aberration measurement, optical intensity-distribution A-B of the image surface is measured. Next, wave aberration is computed using a phase recovery method from the optical intensity distribution of this image surface.

[0072] By changing this wave aberration into the Zernike coefficient, many aberration (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion, etc.) of a target is computed.

[0073] Next, when this target aberration is below a tolerance, it exposes again and, in more than a tolerance, shifts to an aberration control step (it is here, and when making target aberration into the wave aberration itself, it is not necessary to perform conversion for the Zernike coefficient).

[0074] In an aberration control step, it becomes possible by using the control method corresponding to each aberration to control the amount of aberration (about the aberration control method, it mentions later.).

[0075] In the above-mentioned example, although wave aberration was measured when light exposure or the amount of environmental variations exceeded constant value, the n-th shot or wafer number of sheets may determine measurement of wave aberration like the n-th sheet by the exposure shots per hour.

[0076] Moreover, when it sets up so that wave aberration measurement may be performed at the time of wafer exchange, convenience on a throughput is good. In this case, and if spread, the probability to be settled in a limit of target aberration becomes high, and it is convenient. [ under one wafer exposure ] [ wave aberration ]

[0077] On the other hand, when the amount of permissible aberration is severe, or when change of wave aberration is sharp, wave aberration may be measured and controlled for every exposure.

[0078] The <control method of an optical property> The aberration searched for with the above-mentioned phase recovery method can be controlled by the following methods. Each method is explained in full detail below.

[0079] (\*\*-1) How to control aberration by the optical member 101 which consists of two-sheet 1 set of optical wedges 43 and 44 shown in drawing 1.

[0080] The actuator which is not illustrated for driving to a longitudinal direction, respectively attaches the optical wedges 43 and 44 of these two sheets. By driving these, the board thickness as an parallel plate to the flux of light is changed, and the spherical aberration of the contraction projection lens 1 is controlled. Furthermore, comatic aberration is controlled by leaning this optical member 101.

[0081] Moreover, since the focus location of the contraction projection lens 1 also changes to coincidence at this time, the XYZ stage 4 is moved in the direction of an optical axis of the contraction projection lens 1, and the focus is controlled.

[0082] (\*\*-2) How to make the lens in the contraction projection lens 1 drive in the direction of an optical axis using the lens drive unit 90. Or the method of changing the plane-parallel plate with which thickness differs mutually in an optical path using the lens drive unit 90.

[0083] (\*\*-3) How to change the refractive index of the gas within the sealing air between the optical members in the contraction projection lens 1.

[0084] At this time, pressure control, the mixture control of the mixture of gas, etc. occur as a means to change a gaseous refractive index.

[0085] (\*\*-4) How to heat some or all of the contraction projection lens 1, and cool. Physical deformation of the optical member in the contraction projection lens 1 and a refractive index are produced by heating and cooling, and spherical aberration is changed.

[0086] (\*\*-5) Change color spherical aberration by shifting from the wavelength by which chromatic-aberration amendment of the contraction projection lens 1 was carried out by changing



the wavelength of the light emitted from the light source of the illumination-light study system of a projection aligner. It is the optimal method when what can make adjustable wavelength of synchrotron orbital radiation, such as an excimer laser narrow-band-ized as the light source, is used.

[0087] (\*\*-6) How to change the wavelength width of face of the flux of light used by the illumination-light study system of a projection aligner.

[0088] By changing wavelength width of face, according to the axial overtone aberration of the contraction projection lens 1, the breadth of a focus gap changes and spherical aberration is changed. It is the optimal method when that to which the light source can make adjustable wavelength width of face of synchrotron orbital radiation, such as a narrow-band-ized excimer laser, is used.

[0089] (\*\*-7) How to change the aspheric surface symmetrical with rotation which generates predetermined spherical aberration to the pupil location of the contraction projection lens 1.

[0090] If spherical aberration is changed using the above (A -1) of - (A -7), and a method, since optical-character ability other than spherical aberration also changes to coincidence, in many cases, it is necessary to control it. Moreover, there may be the necessity of also controlling optical-character ability other than spherical aberration to a desired value. (Example: In Mix&Match, control a scale factor.) The optical member which is not used for control of the spherical aberration in a contraction projection lens in these cases is moved, or the refractive index of the gas between optical members is changed, and optical-character ability (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion, etc.) to control except spherical aberration is controlled.

[0091] Moreover, since the relation of the optical-character ability and the control means to control is linear combination in approximation, the number of both is in agreement. Thus, it becomes possible to control not only spherical aberration but many aberration (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion, etc.). Moreover, it is also possible to control wave aberration similarly.

[0092] <Control of an image shift> The image shift of the whole (shot whole) screen may occur with the aberration control by a lens drive, member insertion appearance, etc. which are in the above (A -1) of - (A -7), and a method.

[0093] Alignment information can be made to feed back if the variation of the image shift to the amount of drives of aberration control-section material is beforehand calculated by count experimentally here (it is offset especially to the amount of base lines). Superposition baking can be performed with a sufficient precision, without generating the alignment gap accompanying the aberration control under exposure by amending an X-Y stage location according to the amount of offset.

[0094] On the other hand, apart from the method of calculating beforehand the image shift variation to the amount of drives of an aberration control material, for every aberration measurement drive, the amount of base lines may be measured to coincidence, and the amount of base lines may be rewritten directly. About base-line measurement, you may measure by detecting an exclusive mark by the exclusive non-illustrated alignment detection system.

[0095] Moreover, when computing and controlling aberration by detecting specific pattern light intensity distribution like the time of wave aberration measurement, re-measurement and the method of computing and feeding back the value to the amount of direct base lines may be [ after driving aberration control-section material ] used in a screen common shift component.

[0096] measuring the unexpected shift component accompanying a drive directly by this method -- real time -- and it is accurate and can feed back to alignment information.

[0097] Next, measurement / amendment sequence of the above-mentioned image shift is shown in drawing 7 and drawing 9 . It is a sequence corresponding to [ corresponding to drawing 6 in drawing 7 ] drawing 8 in drawing 9 , and the image shift-amount calculation step after aberration control and an image shift control step are added.

[0098] Measurement and calculation of wave aberration are performed, and aberration control-section material is made to drive as a sequence for desired aberration control. Then, it computes, and an image shift amount is shifted to the step which controls an image shift, when larger than

measurement or the tolerance which the image shift amount set up beforehand.

[0099] By the above sequences, the image formation engine performance of the projection lens which changes delicately in exposure is grasped, and about wave aberration, it is accurate and it becomes possible to measure at a high speed and to control.

[0100] Moreover, since it becomes possible to also compute and control the image shift produced by making aberration control-section material drive and amends at any time during exposure actuation further, it becomes possible to expose in the condition with little [ always ] aberration and image gap.

[0101] [Operation gestalt 2]

<Wave aberration calculation by exposure hysteresis> With the operation gestalt 1, it asked for the wave aberration of projection optics by measuring the optical intensity distribution of the image surface and using a phase recovery method.

[0102] With this operation gestalt, the method of computing wave aberration based on the light exposure which is acting as the monitor at the time of exposure is used.

[0103] In an experiment, the wave aberration (phase of a pupil surface) to light exposure is measured beforehand, and it is made to hold to equipment as exposure hysteresis at the time of the factory shipments of an aligner etc. Since it becomes possible to compute wave aberration by this, without measuring the optical intensity distribution of the image surface at the time of real exposure, it becomes very advantageous on a throughput.

[0104] This sequence is explained using the flow chart of drawing 8.

[0105] Beforehand, the wave aberration (phase of a pupil surface) to light exposure is measured at the time of the factory shipments of an aligner etc., and it holds to an aligner as exposure hysteresis.

[0106] Next, in actual exposure, continuation of exposure and exposure termination is judged for every exposure. If it is continuation of exposure, it shifts to the step of light exposure calculation.

[0107] If this light exposure is below a tolerance (allowed value) after computing light exposure from the exposure time, reticle permeability, an illuminance, etc., it exposes again, and if it is more than a tolerance, it shifts to the step of wave aberration calculation and control.

[0108] Here, when light exposure is more than a tolerance, it becomes possible to compute the wave aberration to light exposure from the exposure hysteresis which equipment holds. By changing this wave aberration into the Zernike coefficient, many aberration (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion, etc.) of a target is computed.

[0109] Next, it shifts to an aberration control step. In an aberration control step, it becomes possible by using the control method corresponding to each aberration to control the amount of aberration (aberration control is performed by the method of "the operation gestalt 1").

It is good to use wafer number of sheets as a target here, when a throughput poses a problem, and to be made to carry out at the time of wafer exchange. At this time, if spread, the phase change under one wafer exposure and the probability to be settled in a limit of target aberration become high, and it is convenient.

[0110] On the other hand, when the amount of permissible aberration is severe, or when change of wave aberration is sharp, wave aberration may be measured and controlled for every exposure by making the tolerance of light exposure into zero.

[0111] Although the above example described the case where originated in light exposure and wave aberration changed, as a factor which changes the wave aberration of a contraction projection lens, environmental variations, such as atmospheric temperature, an atmospheric pressure, and humidity, are also considered. It is also possible to measure and control the aberration of the projection optics which originates in these environmental factors and changes.

[0112] Thus, without measuring wave aberration in the sequence of actual exposure actuation by asking for change of the wave aberration (phase of a pupil surface) to light exposure beforehand, and making it hold to equipment as exposure hysteresis at the time of the factory shipments of an aligner etc., the target aberration (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion, etc.) is compute and control only by the operation, and it becomes possible to be able to burn a pattern.

[0113] [Operation gestalt 3]

By the method of the operation gestalt 1 which the wave aberration by <half mirror mentioned [ which mentioned above and real-time-measured ] above, measurement of the optical intensity distribution on the image surface is needed in the middle of pattern baking. When wave aberration changes for the time amount which this measurement takes, precise wave face measurement becomes difficult.

[0114] Thus, when wave aberration changes delicately, it will be necessary to measure to pattern baking and coincidence and to raise the accuracy of measurement.

[0115] Drawing 10 is the important section schematic diagram of this operation gestalt. This drawing installs a half mirror 55 in the wafer side of the projection optics of the operation gestalt 1 as a branching means, and branches pattern baking light and an optical intensity-distribution measuring beam in the flux of light from the projection lens 1.

[0116] It is also possible to branch here using prism with a half mirror side etc. instead of a half mirror 55.

[0117] With the operation gestalt 1, since the optical path for pattern baking and image surface measurement on the strength is the same, before and after burning a pattern, measurement of image surface light intensity distribution and calculation must be performed. For the reason, time lag may arise on the occasion of wave aberration measurement, and an error may arise in measured value and control.

[0118] On the other hand, with this operation gestalt, it becomes possible to measure change of the wave aberration which has produced it in the case of pattern baking since the light which carried out the spectrum of the exposure light of pattern baking is used for optical intensity-distribution measurement of the image surface on real time.

[0119] Change of the delicate wave aberration which changes to minute time amount can also be caught by this, and it makes it possible to control the target aberration with a sufficient precision as the result (or control of the wave aberration itself).

[0120]

[Effect of the Invention] According to this invention, timing is good in the wave aberration of an exposure load or the projection lens which changes with environmental variations (an atmospheric pressure, atmospheric temperature, humidity, etc.) delicately, and by measuring at a high speed and controlling, the image formation engine performance of a projection lens can be grasped with high precision and quickly, and the wave aberration measuring method and projection aligner which can maintain a projection aligner for the good image formation engine performance can be attained.

[0121] In addition, according to this invention, as a result of being able to compute wave aberration using a phase recovery method, it becomes possible to be accurate and to measure the image formation engine performance of the projection lens which changes with exposure delicately at a high speed, and not only a focus but many of other aberration (example: spherical aberration, ASU, a coma, a scale factor, distortion, etc.) can be easily control by the condition of actually use it for exposure.

---

[Translation done.]

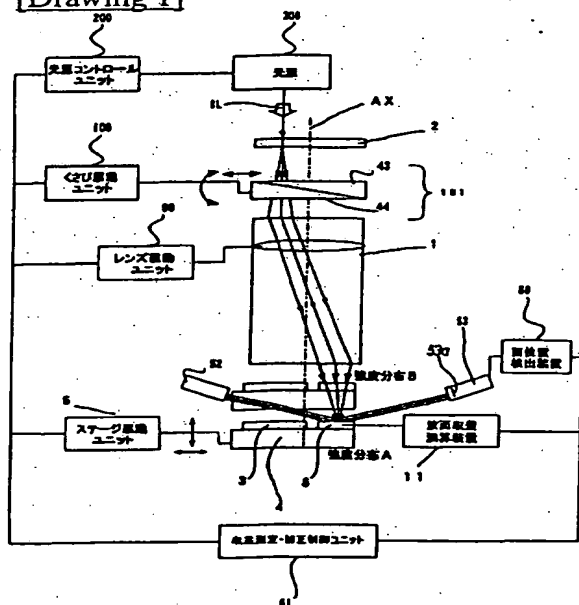
\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

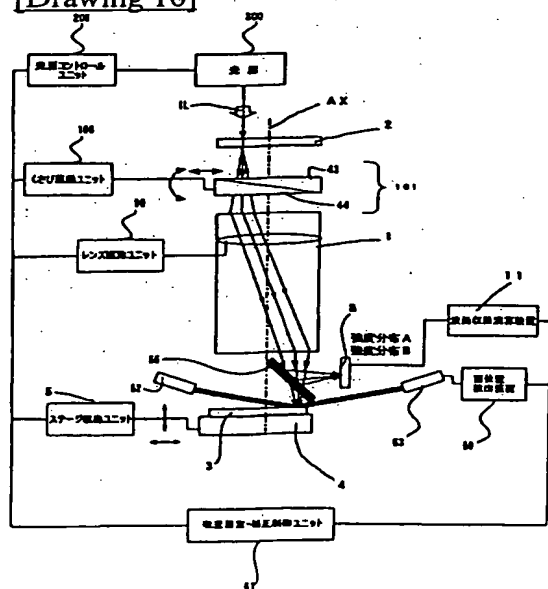
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

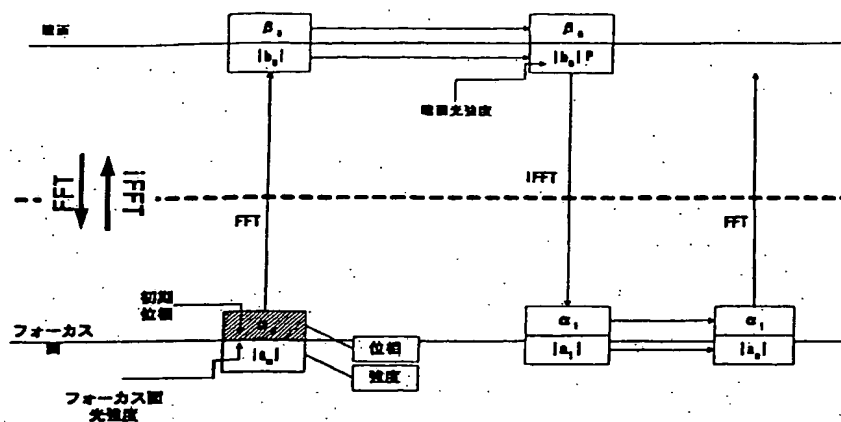
[Drawing 1]



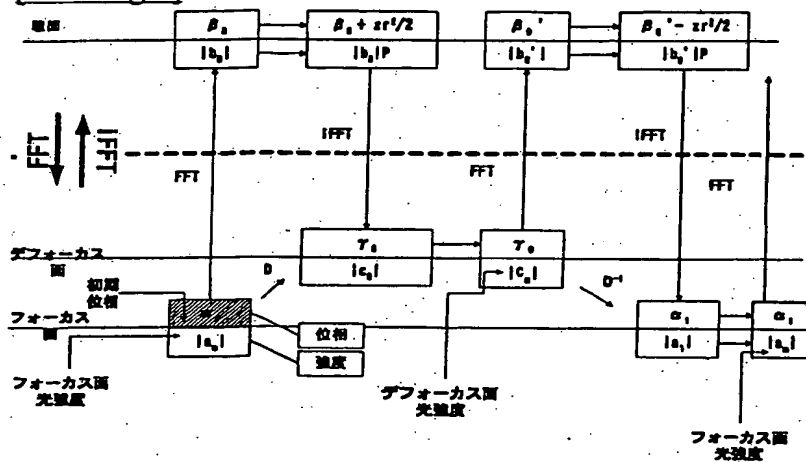
[Drawing 10]



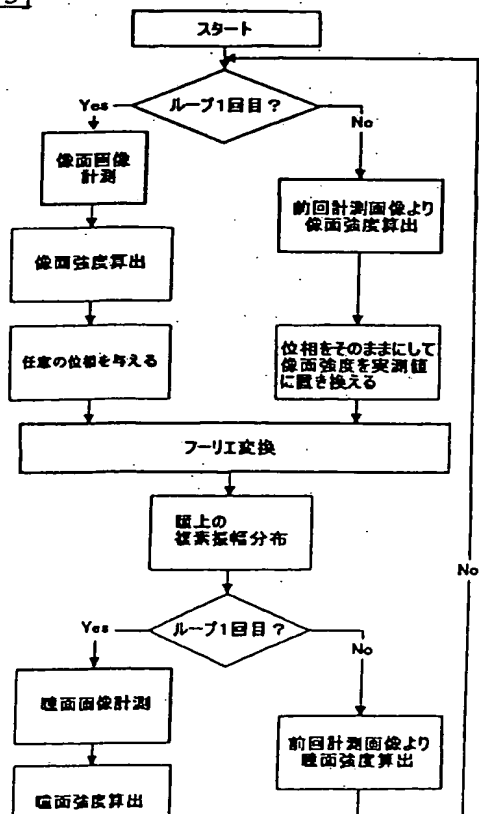
[Drawing 2]

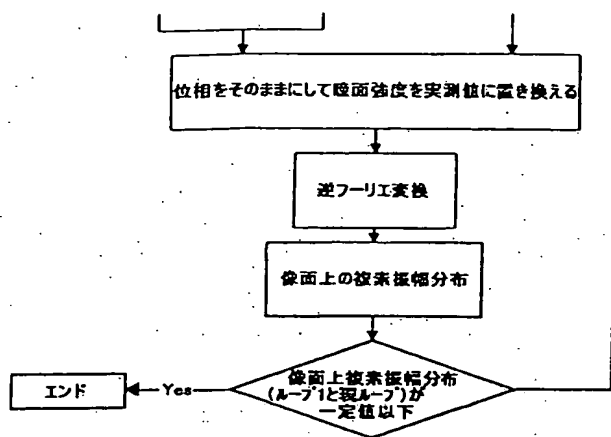


[Drawing 4]

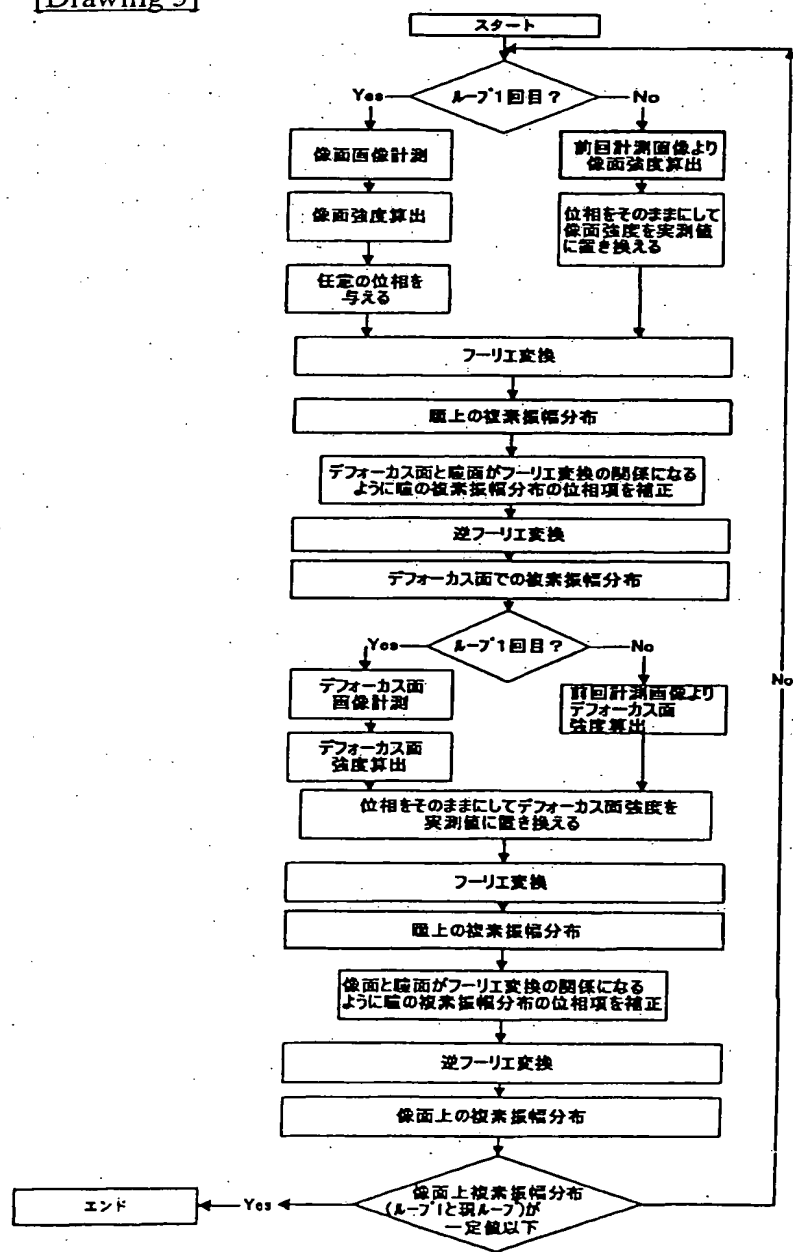


[Drawing 3]

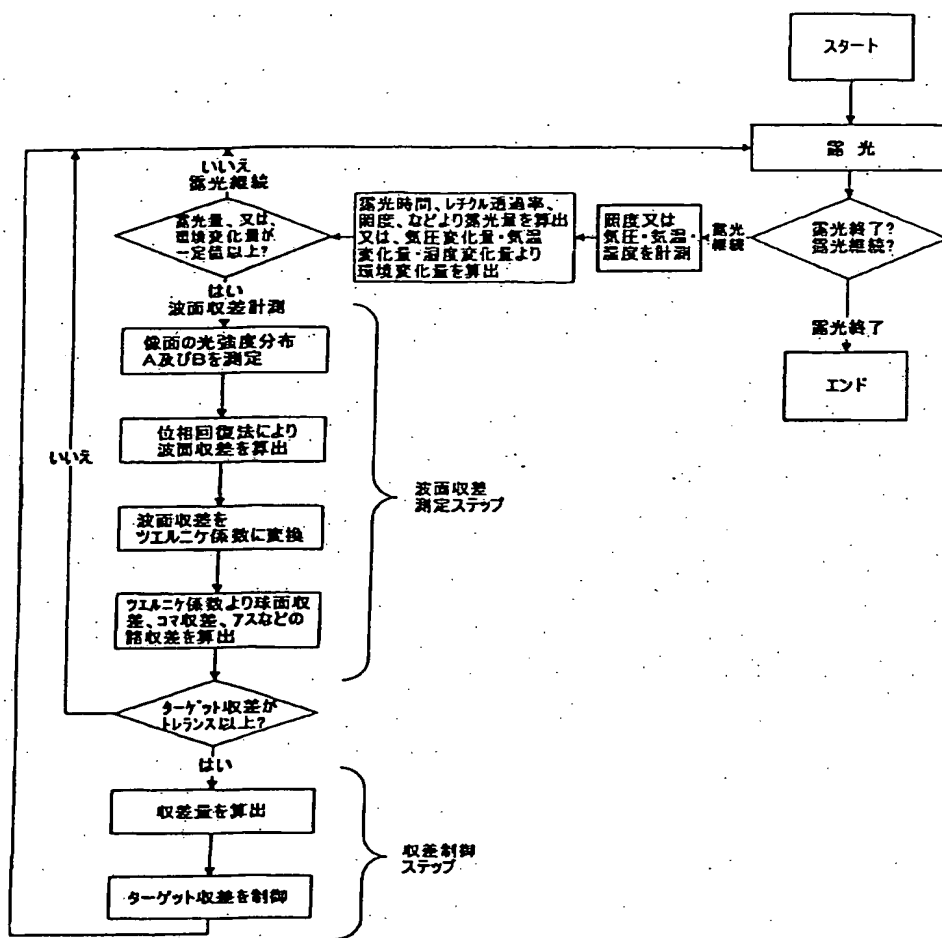




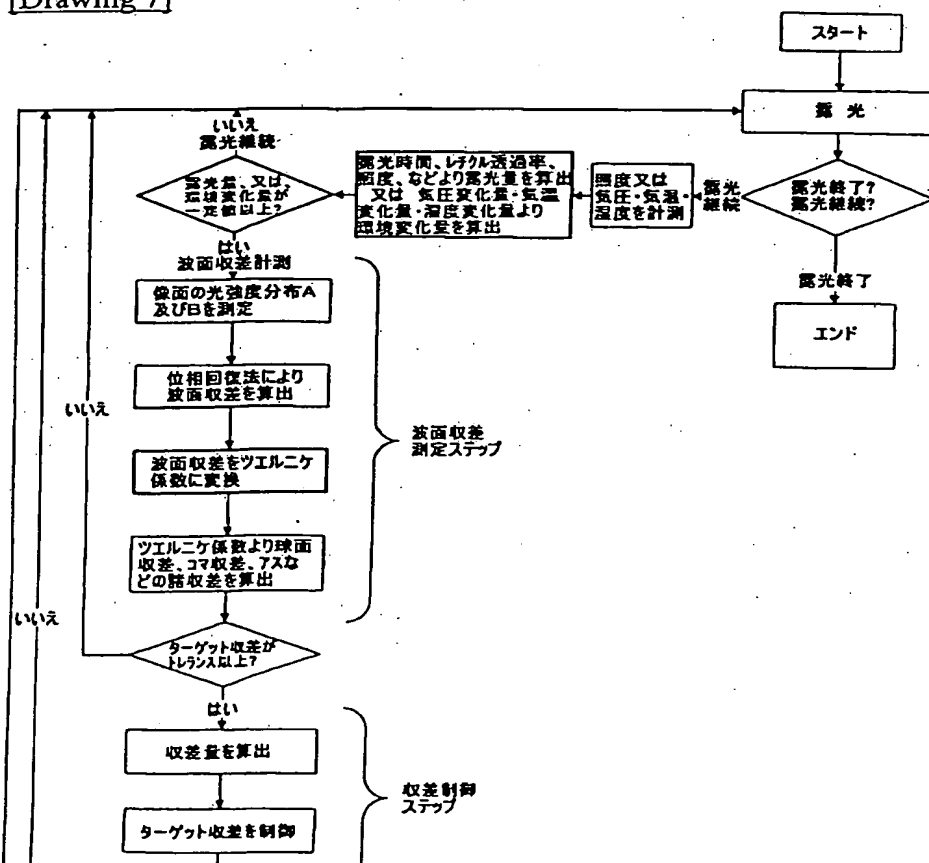
[Drawing 5]

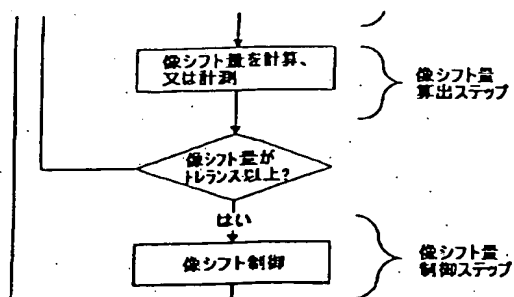


[Drawing 6]

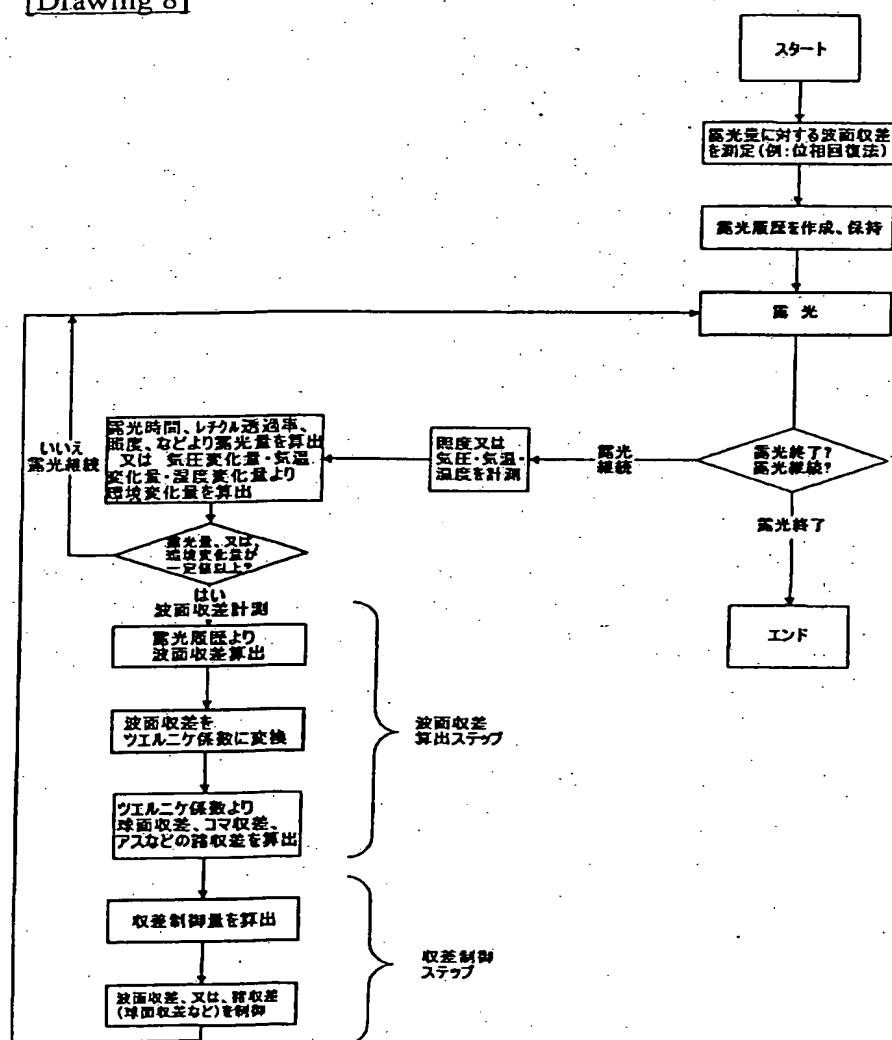


[Drawing 7]

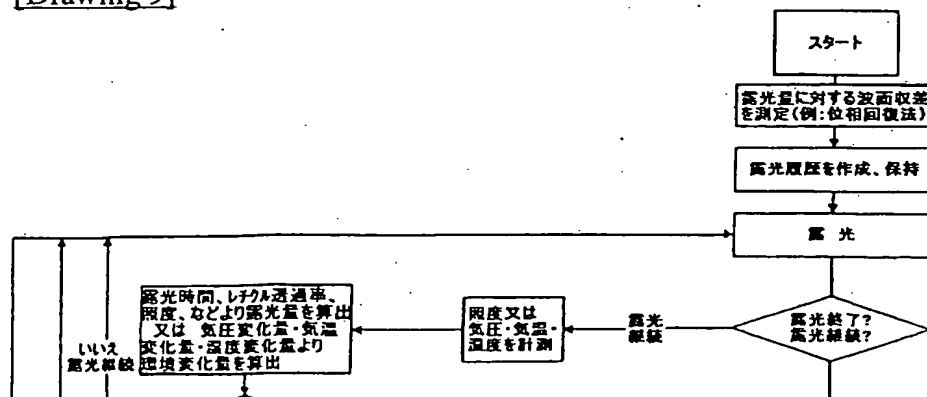




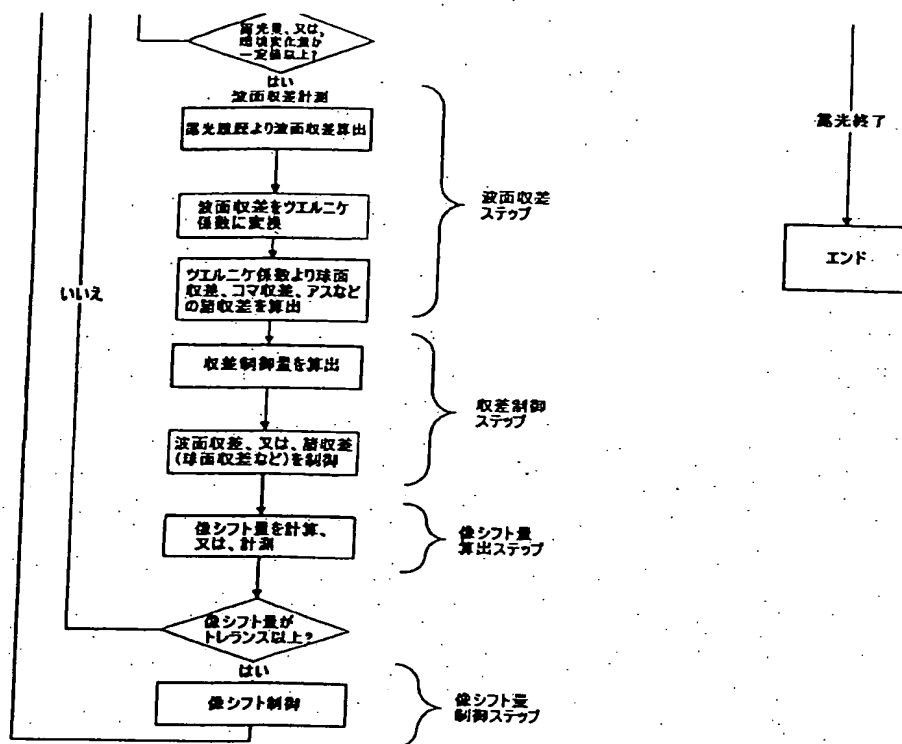
[Drawing 8]



[Drawing 9]







[Translation done.]



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、露光負荷、又は／及び環境変化などを測定してその値が一定値を超えた場合に投影光学系の波面収差を計測し、光学特性を制御する制御手段とを利用していることを特徴とする波面収差測定方法。

【請求項2】 前記投影光学系の波面収差を位相回復法を用いて計測していることを特徴とする請求項1の波面収差測定方法。

【請求項3】 前記波面収差に基づき前記投影光学系の光学特性を制御していることを特徴とする請求項1の波面収差測定方法。

【請求項4】 前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴とする請求項3の波面収差測定方法。

【請求項5】 第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、該投影光学系の波面収差を露光履歴データから予測する制御手段とを利用していることを特徴とする波面収差測定方法。

【請求項6】 前記投影光学系の波面収差に基づき該投影光学系の光学特性を制御することを特徴とする請求項5の波面収差測定方法。

【請求項7】 前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴とする請求項6の波面収差測定方法。

【請求項8】 第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体上のパターンを該第2物体上に露光する露光光と光強度分布検出用の計測光に分岐する分岐手段と、露光中の波面収差に基づき、該投影光学系の光学特性をリアルタイムに制御する制御手段とを利用していることを特徴とする波面収差測定方法。

【請求項9】 前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴とする請求項8の波面収差測定方法。

【請求項10】 前記投影光学系を介して該第1物体面

上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、

該投影光学系を介して該第1物体上パターンを第2物体上に露光する露光光と光強度分布検出用の計測光に分岐する分岐手段と、

該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、露光中における該投影光学系の波面収差をリアルタイムに計測していることを特徴とする波面収差測定方法。

【請求項11】 露光中における投影光学系の波面収差を位相回復法を用いてリアルタイムに計測していることを特徴とする請求項10の波面収差測定方法。

【請求項12】 前記波面収差に基づき前記投影光学系の光学特性をリアルタイムに制御することを特徴とする請求項10の波面収差測定方法。

【請求項13】 前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴とする請求項10の波面収差測定方法。

【請求項14】 請求項1から13のいずれか1項の波面収差測定方法を利用していることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マスク上のパターンを投影光学系を介して感光性の基板に転写する、半導体素子を製造する等のリソグラフィ工程で使用される投影光学系の波面収差測定方法及び投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造するフォトリソグラフィ工程では、レチクルやフォトマスク（以下、レチクルと総称する）に形成された回路パターンを感光剤が塗布された半導体ウエハー等に転写する投影型露光装置が使用される。

【0003】この種の露光装置では、レチクル上のパターンを所定の倍率（縮小率）で正確にウエハー上に転写することが要求されており、結像性能のよい、収差を抑えた投影レンズ（投影光学系）を用いることが重要となってきた。

【0004】特に近年、半導体デバイスの一層の微細化要求により、投影レンズで転写できる結像性能限界のパターンを転写することが多くなってきた結果、転写するパターンは光学系の収差に対し、より敏感になっている。その為、投影レンズの結像性能を測定し、制御したいという要求が生じ、該測定、制御に対し、様々な方法が考案されている。

【0005】投影レンズの結像性能を制御する一つの方法が特開昭63-306626号公報にて報告されている。同公報では投影レンズが露光光の一部を吸収して、温度が変化したことにより変動するフォーカス面の位置を制御するというものである。

【0006】一方、特開平05-315225号公報では、線幅・照明方法によって異なる、投影レンズの露光収差の制御方法が報告されている。投影露光装置では（線幅・照明方法により回折光が射出される角度が異なるため、投影レンズ内部の光線通過位置が異なる。それにより、投影レンズ内部の温度上昇変化率が異なり、投影光学系の収差が異なり、同公報はこれを制御するというものである。

【0007】一方、近年半導体素子製造用の投影露光装置では投影レンズの高NA化が求められており、最近の投影レンズにおいてはNA0.65以上、解像線幅0.18 $\mu$ mのスペックが望まれている。また、それに伴い焦点深度も0.5~0.7 $\mu$ mとかなり厳しくなり、フォーカス面の追従性は0.05 $\mu$ m以下の精度が要求されている。

【0008】このような状況の中、投影光学系の露光光吸収により微妙に変動する収差をも制御する必要性が生じてきており、前述した二つの公報にみられるような、フォーカスに重点を置いた計測ではなく、露光により変化する投影レンズの結像性能を測定したいという要求がでてきた。

【0009】その為、フォーカスのみならず、他の諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）の変動を計測・制御する必要性が生じており、この投影光学系の諸収差を制御する為の手段として、全ての収差情報を含む波面収差の計測が必要となってきた。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】特開昭63-306626号公報に述べられているフォーカス検出方法は、スリットを配置したレチクル及びステージを用いて、その相対移動により通過する光量を検出し、検出光量の最大値によりフォーカス位置を決定する方法である。

【0011】この制御方法は、光量検出法を用いている為、像面湾曲及び像面傾斜しか求めることができない。また、レチクルのパターン線幅によるフォーカス差（フォーカスの線幅依存性）を求めることができない為、十分なフォーカス精度を得ることができない。

【0012】又、特開平5-315225号公報による方法では、フォーカス検出系に用いるパターンと実露光に用いる線幅との差をあらかじめ求めておき（ウェハーに焼き付けて計測）、露光における入射露光量 $\delta I$ を計測することにより、フォーカスの変化量 $\delta F$ を予測するというものである。

【0013】この為、フォーカス検出精度は、焼き付け

パターンの読み取り精度に大きく左右されることになる。また、同公報においては、球面収差、フォーカス及び倍率変化のみの計測であり、全ての収差を測定できるわけではない。

【0014】上記二つの公報における方法では、光量検出によるフォーカス検出法を用いており、投影レンズの結像性能を知る為の十分な精度を得ることができない。また、パターン線幅の依存性の測定は、焼き付けパターンを測定している為、読み取り精度に大きく左右される。それに加えて、上記二つの方法では、フォーカス計測がメインであり、他の全ての収差を測定することは極めて困難である。

【0015】本発明は、露光負荷、又は、環境変化（気圧・気温・湿度変化など）により微妙に変化する投影レンズの波面収差をタイミング良く、かつ、高速に計測し、制御することにより、投影レンズの結像性能を高精度にかつ迅速に把握し、投影露光装置を良好な結像性能に維持することができる波面収差測定方法及び投影露光装置の提供を目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の波面収差測定装置は、第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、露光負荷、又は、及び環境変化などを測定してその値が一定値を超えた場合に投影光学系の波面収差を計測する制御手段とを利用していることを特徴としている。

【0017】請求項2の発明は請求項1の発明において、前記投影光学系の波面収差を位相回復法を用いて計測していることを特徴としている。

【0018】請求項3の発明は請求項1の発明において、前記波面収差に基づき前記投影光学系の光学特性を制御していることを特徴としている。

【0019】請求項4の発明は請求項3の発明において、前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は、及び像シフトであることを特徴としている。

【0020】請求項5の発明の波面収差測定方法は、第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、該投影光学系の波面収差を露光履歴データから予測する制御手段とを利用していることを特徴としている。

【0021】請求項6の発明は請求項5の発明において、前記投影光学系の波面収差に基づき該投影光学系の光学特性を制御することを特徴としている。

【0022】請求項7の発明は請求項6の発明において、前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴としている。

【0023】請求項8の発明の波面収差測定方法は、第1の物体上に形成されたパターンを投影光学系を介して第2の物体上に結像させて露光する投影露光装置の投影光学系の波面測定方法において、該投影光学系を介して該第1物体上のパターンを該第2物体上に露光する露光光と光強度分布検出用の計測光に分岐する分岐手段と、露光中の波面収差に基づき、該投影光学系の光学特性をリアルタイムに制御する制御手段とを利用していることを特徴としている。

【0024】請求項9の発明は請求項8の発明において、前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴としている。

【0025】請求項10の発明の波面収差測定方法は、前記投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、該投影光学系を介して該第1物体上パターンを第2物体上に露光する露光光と光強度分布検出用の計測光に分岐する分岐手段と、該投影光学系を介して該第1物体面上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出手段と、該光強度検出手段により検出された光強度分布を用いて、投影光学系の波面収差を算出する波面収差演算手段と、露光中における該投影光学系の波面収差をリアルタイムに計測していることを特徴としている。

【0026】請求項11の発明は請求項10の発明において、露光中における投影光学系の波面収差を位相回復法を用いてリアルタイムに計測していることを特徴としている。

【0027】請求項12の発明は請求項10の発明において、前記波面収差に基づき前記投影光学系の光学特性をリアルタイムに制御することを特徴としている。

【0028】請求項13の発明は請求項10の発明において、前記投影光学系の光学特性は、波面収差又は／及び像シフトであることを特徴としている。

【0029】請求項14の発明の投影露光装置は、請求項1から13のいずれか1項の波面収差測定方法を利用していることを特徴としている。

【0030】

【発明の実施の形態】〔実施形態1〕本実施形態では、投影レンズ（投影光学系）の波面収差を測定することにより、諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）、又は、波面収差自体を制御している。

【0031】露光負荷、又は、環境変化に起因して変化する波面収差の計測手段（波面収差測定手段）として、像面における光強度分布を光強度検出手段で求め、位相回復法を用いて波面収差を測定すること。

【0032】露光量と波面収差の関係を予め計測しておくことにより、パターン焼き付け時には露光量の計測のみを行ない、波面収差量を計算すること。を利用して

【0033】また、前記の方法で算出した波面収差に基づいて、投影レンズの波面収差を調整することにより、従来よりも収差の影響を低減して、露光することを可能としている。

【0034】その際、投影レンズの波面収差を調整する結果として生じる像のシフト成分を制御することにより、アライメント精度のよい露光を可能としている。

【0035】次に本発明の実施形態の特徴について説明する。

【0036】図1は本発明の実施形態1の投影露光装置の要部概略図である。同図において2は原板のレチクル（フォトマスク）で、該レチクル2上の回路パターンが投影光学系（縮小投影レンズ）1によって、保持手段であるXYZステージ4上のウエハー3上に縮小されて結像し、露光が行われる。

【0037】投影光学系1は入射側及び出射側で共にテレセントリックになっている。XYZステージ4は縮小投影レンズ1の光軸方向（Z方向）及び光軸方向に直交する面内（X-Y面）で移動可能で、ステージ駆動ユニット5により制御されている。

【0038】ウエハー回路パターンを転写するとき、照明光学系からの光束ILがレチクル2の回路パターンの転写が行われる画面領域内を照明する。

【0039】101は収差制御用の光学部材であり、2枚の光学くさび43、44を全体として平行平板となるように対向配置し、平行平板としたときの光入射面と光射出面が光軸AXと直交するように配置している。

【0040】この2つの光学くさび43、44は相対的に投影光学系1の光軸AXと直交する方向に移動可能であり、光軸方向の厚さが可変になっている。光学部材101の詳細については後述する。

【0041】図1では、ウエハー3に隣接する位置にウエハー3の上面と高さがほぼ一致した面を持つ光強度検出装置（光強度検出手段）8が配置されている。光強度検出装置8により計測されたウエハー面上の像面光強度分布データを波面収差演算装置（波面収差測定手段）11を用いて計算することにより、投影光学系1の波面が後述の算出アルゴリズムで算出される。

【0042】52及び53は光強度検出手段8の面やウエハー3面の光軸AX方向の位置を検出する面位置検出光学系を構成する要素を示している。このうち52は光学系（投光光学系）であり、同図では光強度検出装置8

の面の光軸AXに対する傾きをチェックする為、複数個の光束を投光する。

【0043】投光光学系52より投光される各光束は非露光光からなり、ウエハー3上のフォトレジストを感光させない光よりなっている。そして、この複数の光束は光強度検出装置8の所定面（またはウエハー面3）上に各々集光されて反射される。

【0044】光強度検出装置8の面で反射された光束は検出光学系53に入射する。検出光学系53内には各反射光束に対応させて複数個の位置検出用の受光素子53aが配置されており、各位置検出用の受光素子53aの受光面と光強度検出装置8の面での各光束の反射点が検出光学系内の光学系によりほぼ共役となるように構成されている。

【0045】光強度検出装置8における所定面の縮小投影レンズ1の光軸AX方向の位置ずれは検出光学系53内の位置検出用の受光素子53a上での入射光束の位置ずれとして計測される。

【0046】この検出光学系53により計測された光強度検出装置8のフォーカス基準位置からのZ方向（光軸AX方向）のずれが位置検出用の受光素子からの出力信号に基づいて面位置検出装置80により面位置情報として算出される。

【0047】この結果、実際にTTLで計測されるフォーカス位置からのずれに対する信号が収差測定・制御ユニット61に入力される。

【0048】収差測定・制御ユニット（制御手段）61は光強度検出装置8が固設されたXYZステージ4を駆動する為のステージ駆動ユニット5に信号線を介して司令信号を与える。また、投影レンズ1の波面収差を測定するときには収差測定・制御ユニット61によりステージ制御ユニット5に指令を与え、光強度検出装置8が所定の装置の基準位置の近傍で投影レンズ1の光軸方向（Z方向）に上下に変位するようにXYZステージ4を駆動する。

【0049】ここで、像面（ウエハ面）上の特定パターンの光強度分布を測定する光強度検出装置8としては、CCDカメラ等の撮像素子が適用できるが、この他ウエハ面と同一面上に設けたスリット、又は、ナイフエッジをX及びY方向にスキャンさせ、その際の透過光量を受光手段で検知することで、像面での特定パターンの光強度分布を計測することも可能である。

【0050】また、特定パターンをレチクル2の任意の位置に複数個所配置しておき、光強度検出装置8の配設されたステージ4をX及びY方向に駆動させ、任意の複数の位置でのパターン強度を計測することにより、投影レンズ1の各画角に依存する光学特性（倍率・像面湾曲・ディストーション・コマ収差・非点収差、等）を計測している。

【0051】〈位相回復法による波面収差測定〉次に、

本発明の実施形態1の投影露光装置を用いて、位相回復法により投影光学系1の波面収差を算出する方法を説明する。

【0052】位相回復法は、主に電子顕微鏡や大きな収差が存在する天体望遠鏡等の光学系における解像度の向上に用いられてきた方法であり、複数位置、例えば、像面、瞳面、デフォーカス位置等における像の光強度分布から像の光位相分布を求めるものである。そしてその位相分布から光学系の波面収差を算出する方法である。

【0053】通常の位相回復法のアルゴリズムを図2、図3に示した。まず、計測した像面での光強度分布を用い、任意に位相を与えた後、フーリエ変換し、瞳面での複素振幅分布を求める。

【0054】次に、得られた複素振幅分布のうち、位相部はそのままとし、光強度部にあたる絶対値のみを実際の測定値に応じた値（瞳面での強度の平方根）に置き換え、これを新たな複素振幅分布とする。この新たな複素振幅分布を逆フーリエ変換し、像面上での複素振幅分布を求め、再び、位相部のみそのままとし、光強度を実測値に置き換える。

【0055】以上のような計算を繰り返し行なうことで、像面及び瞳面での複素振幅分布を算出し、瞳面での複素振幅分布の位相分布から、投影レンズの波面収差を算出している。

【0056】フォトリソグラフィのように投影レンズの瞳面での光強度分布の測定が難しい場合、図4、図5に示したように瞳面を介して、像面とデフォーカス面との間で、変換－逆変換を繰り返すことで、像面での複素振幅分布とデフォーカスした面での複素振幅分布を算出し、その結果から瞳の位相分布、すなわち投影レンズの波面収差を求めることも可能である。

【0057】尚、この方法は例えば、J.J.A.P Vol.36 1997 pp.7494-7498に記載されているので詳細は省略する。

【0058】次に本発明の実施形態1の概略図である図1を用いて、上記位相回復法により、投影レンズ1の波面収差を算出・制御する方法を説明する。露光波長の照明光束ILでレチクル2のパターンを照明し、その像を光強度検出装置8上に結像させ、この強度分布A（フォーカス面での光強度分布）を光強度検出装置8により計測する。

【0059】次に、光強度検出装置8の位置を変えて、レチクル2上のパターン像が、光強度検出装置8上でデフォーカスした状態にし、この状態での強度分布B（デフォーカス面での光強度分布）を計測する。強度分布Aと強度分布Bを用いて、図4に従って、位相回復法により投影レンズの波面収差を算出している。

【0060】具体的には、強度分布Aに任意の初期位相を与え、フーリエ変換し、瞳面での複素振幅分布を求める。次に瞳面と強度分布Bを測定したデフォーカス面と

がフーリエ変換（像と瞳）の関係になるように瞳面での複素振幅分布の位相部に補正を加えたのち、その複素振幅分布を逆フーリエ変換して、今度はデフォーカス面での複素振幅分布を求める。

【0061】次に、デフォーカス面での複素振幅分布のうち、位相の項は変更せずに、強度の項にあたる絶対値のみデフォーカス面での強度の実測値に基づいた値に変更したのち、フーリエ変換し、瞳の複素振幅分布を求める。再度、瞳面とフォーカス面がフーリエ変換の関係に戻るように、瞳面での複素振幅分布の位相部に補正を加えた後、逆変換を行ない、フォーカス面での複素振幅分布を計算する。

【0062】ここで、再び、強度の項のみ実測値に基づいて変更し、フーリエ変換する。以上のような繰り返しにより、結像位置での複素振幅分布を算出し、その分布をフーリエ変換することにより、瞳面での位相分布、すなわち、投影レンズの波面収差を算出している。

【0063】本実施形態ではこのようにして、露光中の、露光負荷、又は、環境変化に起因する波面収差を測定している（ここで、環境変化とは、気温、気圧、湿度などの投影光学系の波面収差を変化させる要因を指す。）。）。。

【0064】上記位相回復法により求められた波面収差係数を、ツエルニケ係数に変換することにより、球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等の諸収差を求めている。この諸収差をターゲットにして、投影光学系を制御したり、又、波面収差自体をターゲットに取り、投影光学系を制御している（これらの光学特性の制御方法については、後で詳述する。）。。

【0065】〈波面収差計測タイミング〉次に、本実施形態の波面収差計測を実際の露光動作のシーケンス中で使用する場合について説明する。

【0066】実露光において、投影光学系が露光光を吸収することにより、又は、環境（気温、気圧、湿度など）が変化することにより、投影光学系の瞳面の位相変化（波面収差の変化）が生じる。この波面収差変化は露光量変化、及び、環境変化と相関がある事が分かっている。

【0067】その為、本実施形態では露光中に露光量、又は、環境変化量を測定し、その測定値が一定値を超えた場合に、位相回復法を用いて波面収差を測定し、ターゲットの収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）を制御し、収差の小さい状態でパターンを焼き付けることを可能としている。

【0068】ここで、図5のフローチャートを用いて、波面収差計測、及び、制御のシーケンスを詳述する。

【0069】まず、露光毎に、露光継続か、露光終了かを判断する。ここで、露光継続なら、露光量の測定、又は、環境変化量の測定を行なう。ここで、露光量はレチクル透過率・照度・照射時間等より算出し、環境変化量

は気圧・気温・湿度の変化を計測することより算出している。

【0070】この露光量、又は、環境変化量が一定値以下なら、露光を継続し、一定値以上なら、波面収差測定ステップに移行する。

【0071】波面収差測定ステップにおいて、像面の光強度分布A・Bを測定する。次に、この像面の光強度分布より位相回復法を用いて波面収差を算出している。

【0072】この波面収差をツエルニケ係数に変換することにより、ターゲットの諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）を算出する。

【0073】次に、このターゲット収差がトレランス以下の場合は、再び露光を行ない、トレランス以上の場合は、収差制御ステップに移行する（ここで、ターゲット収差を波面収差自体とする場合、ツエルニケ係数への変換を行なわなくても良い。）。。

【0074】収差制御ステップにおいては、各収差に対応した制御方法を用いることにより、収差量をコントロールすることが可能となる（収差制御方法については後述する。）。。

【0075】上記の例においては、露光量、又は、環境変化量が一定値を超えた時に波面収差の計測を行なっていたが、波面収差の計測を露光ショット数でnショット目、または、ウェハー枚数でn枚目というように決定しても良い。

【0076】また、ウェハー交換時に波面収差計測を行なうように設定すると、スループット上都合が良い。この場合、1枚のウェハー露光中の波面収差変化、しいては、ターゲット収差がリミット内に収まる確率が高くなり都合がよい。

【0077】一方、許容収差量が厳しい場合や、波面収差の変化が激しい場合は、露光毎に波面収差を測定・制御しても良い。

【0078】〈光学特性の制御方法〉上記位相回復法により求めた収差は、以下の方法により制御することが可能である。それぞれの方法について、以下に詳述する。

【0079】（ア-1）図1に示される2枚1組の光学くさび43、44よりなる光学部材101により収差を制御する方法。

【0080】これら2枚の光学くさび43、44はそれぞれ左右方向に駆動する為の不図示のアクチュエーターがついている。これらを駆動することにより、光束に対する平行平板としての板厚を変化させて、縮小投影レンズ1の球面収差を制御している。さらに、この光学部材101を傾けることによりコマ収差を制御している。

【0081】また、この時同時に縮小投影レンズ1のピント位置も変化してしまうので、XYZステージ4を縮小投影レンズ1の光軸方向に移動させてピントを制御している。

【0082】（ア-2）縮小投影レンズ1内のレンズを

レンズ駆動ユニット90を用いて光軸方向に駆動させる方法。または、互いに厚さの異なる平行平面板をレンズ駆動ユニット90を用いて光路中で切り替える方法。

【0083】(ア-3) 縮小投影レンズ1内の光学部材間の密閉空気内の気体の屈折率を変化させる方法。

【0084】この時、気体の屈折率を変化させる手段としては、圧力制御、混合気体の混合比制御等がある。

【0085】(ア-4) 縮小投影レンズ1の一部又は全部を加熱、冷却する方法。加熱、冷却することで縮小投影レンズ1内の光学部材の物理的変形や、屈折率を生じさせて球面収差を変化させる。

【0086】(ア-5) 投影露光装置の照明光学系の光源から放射される光の波長を変えることで、縮小投影レンズ1の色収差補正された波長からずらすことによって色球面収差を変化させる。光源として狭帯域化されたエキシマレーザ等の放射光の波長を可変とすることができるものを用いたときに最適な方法である。

【0087】(ア-6) 投影露光装置の照明光学系で用いる光束の波長幅を変化させる方法。

【0088】波長幅を変えることで、縮小投影レンズ1の軸上色収差によってビントずれの広がりが増加し球面収差を変化させる。光源が狭帯域化されたエキシマレーザ等の放射光の波長幅を可変とすることができるものを用いたときに最適な方法である。

【0089】(ア-7) 縮小投影レンズ1の瞳位置に所定の球面収差を発生させる回転対称な非球面を切り替える方法。

【0090】上記(ア-1)～(ア-7)の方法を用いて球面収差を変化させると、多くの場合、球面収差以外の光学性能も同時に変化してしまうのでそれを制御する必要がある。また、球面収差以外の光学性能も所望の値に制御する必要がある時もある。(例: Mix & Matchの場合に倍率を制御する。)これらの場合、縮小投影レンズ内の球面収差の制御に使っていないところの光学部材を移動したり、光学部材間の気体の屈折率を変化させたりして、球面収差以外で制御したい光学性能(例: 球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等)を制御する。

【0091】また、制御する光学性能と制御手段の関係は、近似的に線形結合であるので両者の数は一致する。このようにして、球面収差のみならず、諸収差(例: 球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等)を制御することが可能となる。また、同様にして波面収差を制御することも可能である。

【0092】〈像シフトの制御〉上記(ア-1)～(ア-7)の方法にあるようなレンズ駆動や部材挿入等による収差制御に伴い、画面全体(ショット全体)の像シフトが発生する場合がある。

【0093】ここで、予め収差制御部材の駆動量に対する像シフトの変化量を実験的に、又は、計算によって求

めておけば、アライメント情報に(特にベースライン量にオフセットとして)フィードバックさせることができる。オフセット量に従ってXYステージ位置を補正する事で露光中の収差制御に伴うアライメントズレを発生させることなく、精度よく重ねあわせ焼きを行なうことができる。

【0094】一方、収差制御材の駆動量に対する像シフト変化量を予め求めておく方法とは別に、収差計測駆動毎に、同時にベースライン量を計測し、ベースライン量を直接書き換えても良い。ベースライン計測については、不図示の専用アライメント検出系で専用マークを検出することで計測しても良い。

【0095】又、波面収差計測時と同様に特定パターン光強度分布を検出することで収差を算出し制御する場合、収差制御部材を駆動後、画面共通シフト成分を再計測・算出し、その値を直接ベースライン量にフィードバックする方法でも良い。

【0096】この方法では、駆動に伴う予期しないシフト成分を直接計測する事でリアルタイムに、かつ、精度よく、アライメント情報にフィードバックすることができる。

【0097】次に、上記像シフトの計測・補正シーケンスを図7、図9に示す。図7は図6に、図9は図8に対応したシーケンスであり、収差制御後の像シフト量算出ステップと像シフト制御ステップが加わったものである。

【0098】シーケンスとしては、波面収差の計測・算出を行ない、所望の収差制御の為に収差制御部材を駆動させる。その後、像シフト量を計測、又は、算出し、その像シフト量が予め設定したトレランスより大きい場合は、像シフトを制御するステップに移行する。

【0099】上記のようなシーケンスにより、露光において微妙に変化する投影レンズの結像性能を把握し、波面収差を精度良く、かつ、高速に計測し、制御することが可能となる。

【0100】また、収差制御部材を駆動させることによって生じる像シフトをも算出・制御することが可能となり、さらに露光動作中に随時補正を行なうので、常に収差・像ズレの少ない状態で露光することが可能となる。

【0101】〔実施形態2〕

〈露光履歴による波面収差算出〉実施形態1では、像面の光強度分布を計測し、位相回復法を用いることにより、投影光学系の波面収差を求めた。

【0102】本実施形態では、露光時にモニターしている露光量をもとに波面収差を算出する方法を用いている。

【0103】露光装置の工場出荷時などに、予め実験において露光量に対する波面収差(瞳面の位相)を測定し、露光履歴として装置に保持させる。これにより、実露光時には像面の光強度分布を測定すること無しに、波



面収差を算出することが可能となる為、スループット上非常に有利になる。

【0104】このシーケンスを図8のフローチャートを用いて説明する。

【0105】予め、露光装置の工場出荷時などに、露光量に対する波面収差（瞳面の位相）を測定しておき、露光履歴として露光装置に保持する。

【0106】次に、実際の露光において、露光毎に、露光継続か、露光終了かを判断する。露光継続なら、露光量算出のステップに移行する。

【0107】露光時間、レチクル透過率、照度などから露光量を算出した後、この露光量がトレランス（許容値）以下なら、再び露光を行ない、トレランス以上なら、波面収差算出・制御のステップに移行する。

【0108】ここで、露光量がトレランス以上の場合、装置が保持している露光履歴より、露光量に対する波面収差を算出することが可能となる。この波面収差をツエルニク係数に変換することにより、ターゲットの諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）を算出している。

【0109】次に、収差制御ステップに移行する。収差制御ステップにおいては、各収差に対応した制御方法を用いることにより、収差量をコントロールすることが可能となる（収差制御は“実施形態1”の方法で行なう。）

ここで、スループットが問題となる場合はウエハー枚数をターゲットとし、ウエハー交換時に行なうようにすると良い。この時、1枚のウエハー露光中の位相変化、しいては、ターゲット収差がリミット内に収まる確率が高くなり都合がよい。

【0110】一方、許容収差量が厳しい場合や、波面収差の変化が激しい場合は、露光量のトレランスをゼロとして露光毎に波面収差を測定・制御しても良い。

【0111】以上の例では露光量に起因して波面収差が変化する場合を述べたが、縮小投影レンズの波面収差を変化させる要因としては、気温、気圧、湿度、等の環境変化も考えられる。これらの環境要因に起因して変化する投影光学系の収差を計測・制御することも可能である。

【0112】このように、露光装置の工場出荷時などに、予め露光量に対する波面収差（瞳面の位相）の変化を求めて、露光履歴として装置に保持させることにより、実際の露光動作のシーケンス中では波面収差を測定することなく、演算のみで目的の収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）を算出・制御し、パターンを焼き付けることが可能となる。

【0113】【実施形態3】

〈ハーフミラーによる波面収差のリアルタイム計測〉前述した、実施形態1の方法では、パターン焼き付けの途中で、像面上の光強度分布の測定が必要となる。この測

定に要する時間の為に波面収差が変化する場合には、精密な波面計測が難しくなる。

【0114】このように、波面収差が微妙に変化する場合、パターン焼き付けと同時に測定を行ない、測定精度を向上させる必要が生じる。

【0115】図10は本実施形態の要部概略図である。この図は、実施形態1の投影光学系のウエハー側に分岐手段としてハーフミラー55を設置し、投影レンズ1からの光束をパターン焼き付け光と光強度分布測定光とを分岐したものである。

【0116】ここで、ハーフミラー55の代わりにハーフミラー面を有したプリズムなどを用いて分岐することも可能である。

【0117】実施形態1では、パターン焼き付けと像面強度測定用の光路が同一の為、パターンを焼き付けの前後で、像面光強度分布の測定、及び、算出を行なわなければならない。その為、波面収差測定に際してタイムラグが生じ、測定値、及び、制御に誤差が生じる場合がある。

【0118】これに対して、本実施形態では、パターン焼き付けの露光光を分光した光を、像面の光強度分布測定に用いている為、パターン焼き付けの際に生じている波面収差の変化をリアルタイムで計測することが可能となる。

【0119】これにより、微小時間に变化する微妙な波面収差の変化をも捉えることができ、その結果として、目的とする収差の制御（又は、波面収差自体の制御）を精度良く行なうことを可能としている。

【0120】

【発明の効果】本発明によれば、露光負荷、又は、環境変化（気圧・気温・湿度変化など）により微妙に変化する投影レンズの波面収差をタイミング良く、かつ、高速に計測し、制御することにより、投影レンズの結像性能を高精度にかつ迅速に把握し、投影露光装置を良好な結像性能に維持することができる波面収差測定方法及び投影露光装置を達成することができる。

【0121】この他本発明によれば、位相回復法を用いて波面収差を算出できるようになった結果、実際に露光に使用する状態で、露光により微妙に変化する投影レンズの結像性能を精度良く、かつ、高速に計測することが可能となり、フォーカスのみならず、他の諸収差（例：球面収差、アス、コマ、倍率、ディストーション等）をも容易に制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1を説明する図

【図2】本発明において像面と瞳面で位相回復法をおこなう場合の説明図

【図3】本発明において像面と瞳面で位相回復法をおこなう場合のフローチャート

【図4】本発明においてフォーカス面とデフォーカス面

で位相回復法をおこなう場合の説明図

【図5】本発明においてフォーカス面とデフォーカス面で位相回復法をおこなう場合のフローチャート

【図6】本発明においてターゲット収差のトレランスにより、収差制御の実行を決めるフローチャート

【図7】図6のフローチャートに、像シフト量算出・像シフト量制御を加えたフローチャート

【図8】本発明において露光量のトレランスにより、収差制御の実行を決めるフローチャート

【図9】図8のフローチャートに、像シフト量算出・像シフト量制御を加えたフローチャート

【図10】本発明において波面収差リアルタイム計測の例を示す図

【符号の説明】

1：投影レンズ

2：レチクル

3：ウエハー

4：ウエハーステージ

5：ステージ駆動装置

8：光強度測定装置

11：波面収差演算装置

43：光学くさび1

44：光学くさび2

61：収差測定・制御ユニット

80：面位置検出装置

90：レンズ駆動ユニット

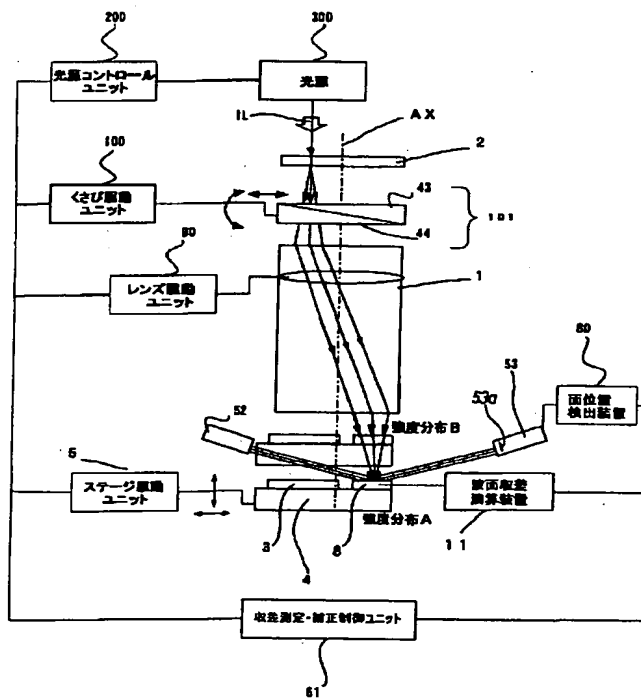
100：くさび駆動ユニット

101：収差制御用光学部材

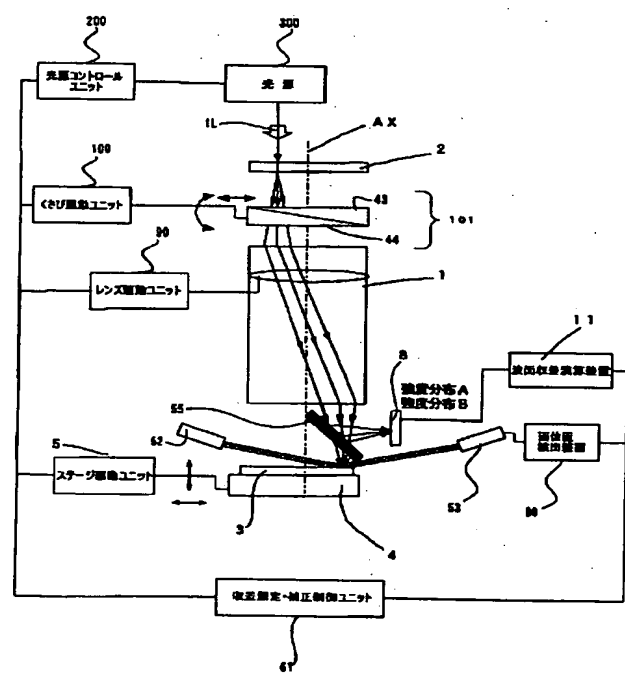
1L：照明光束

AX：投影レンズの光軸

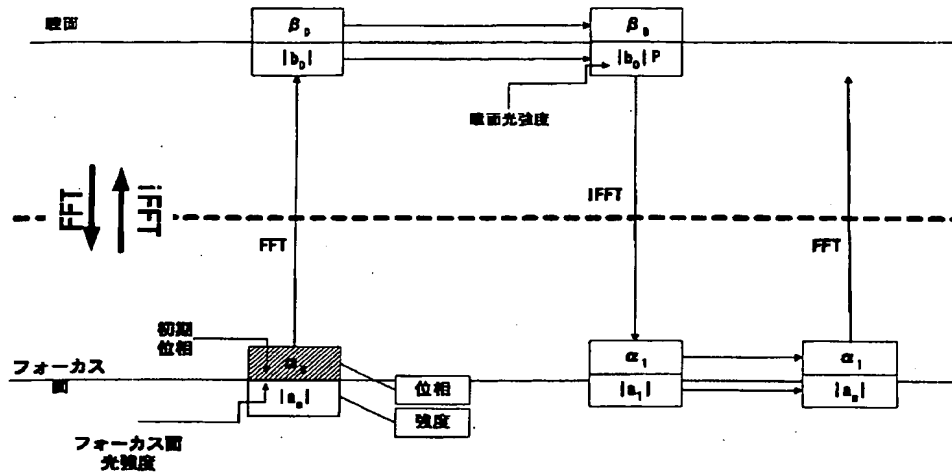
【図1】



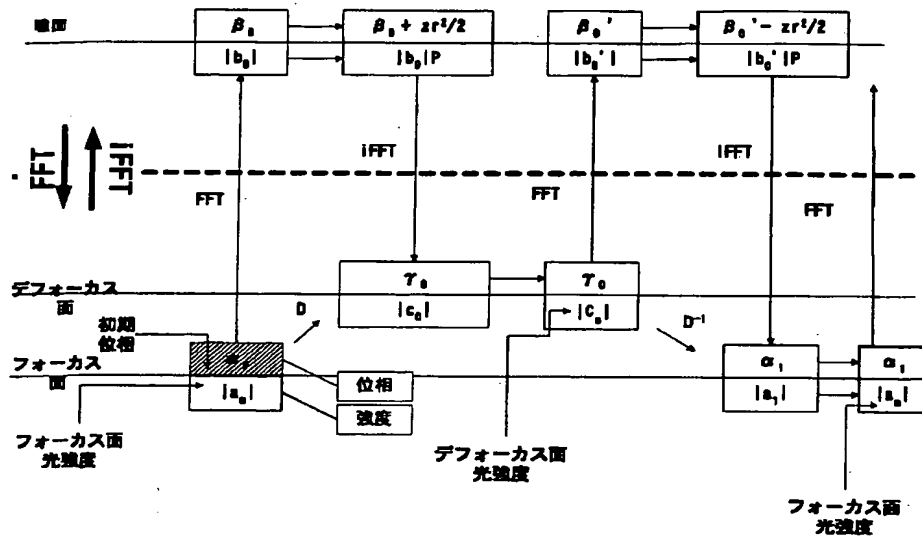
【図10】



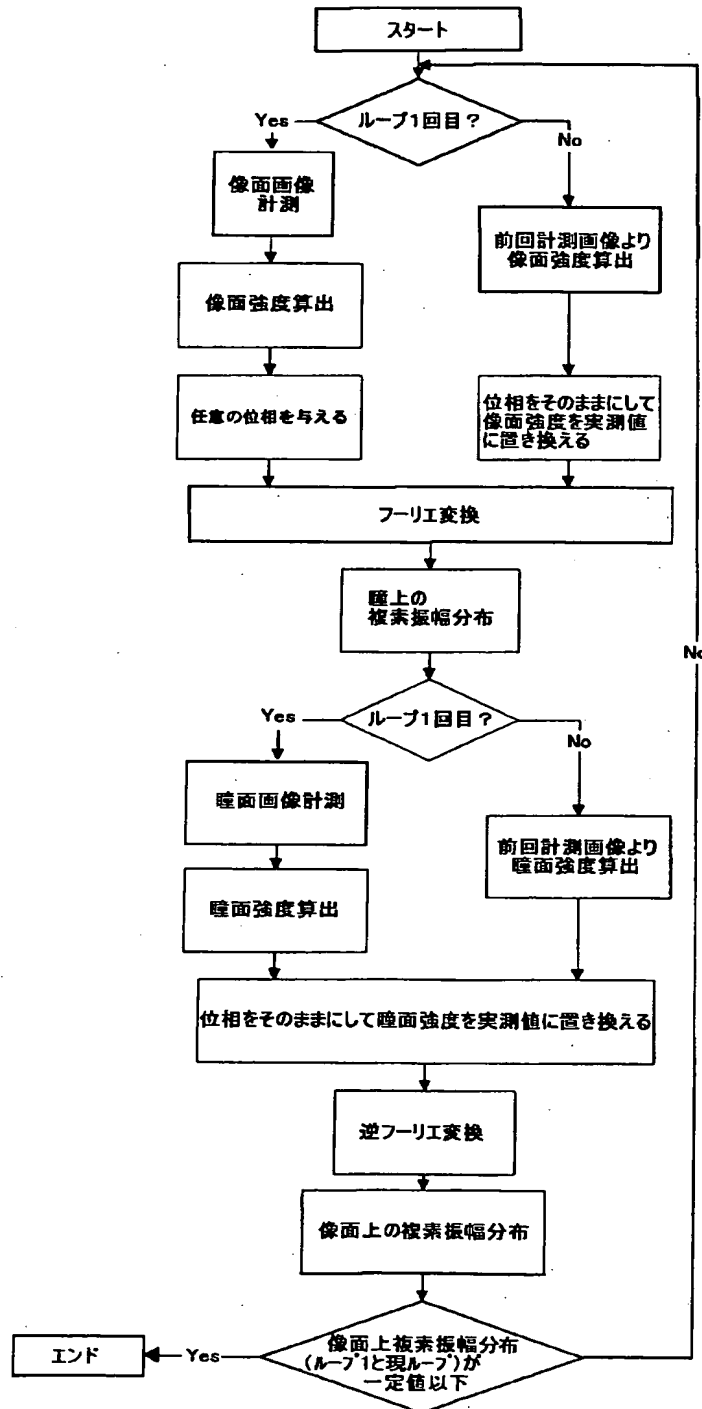
【図2】



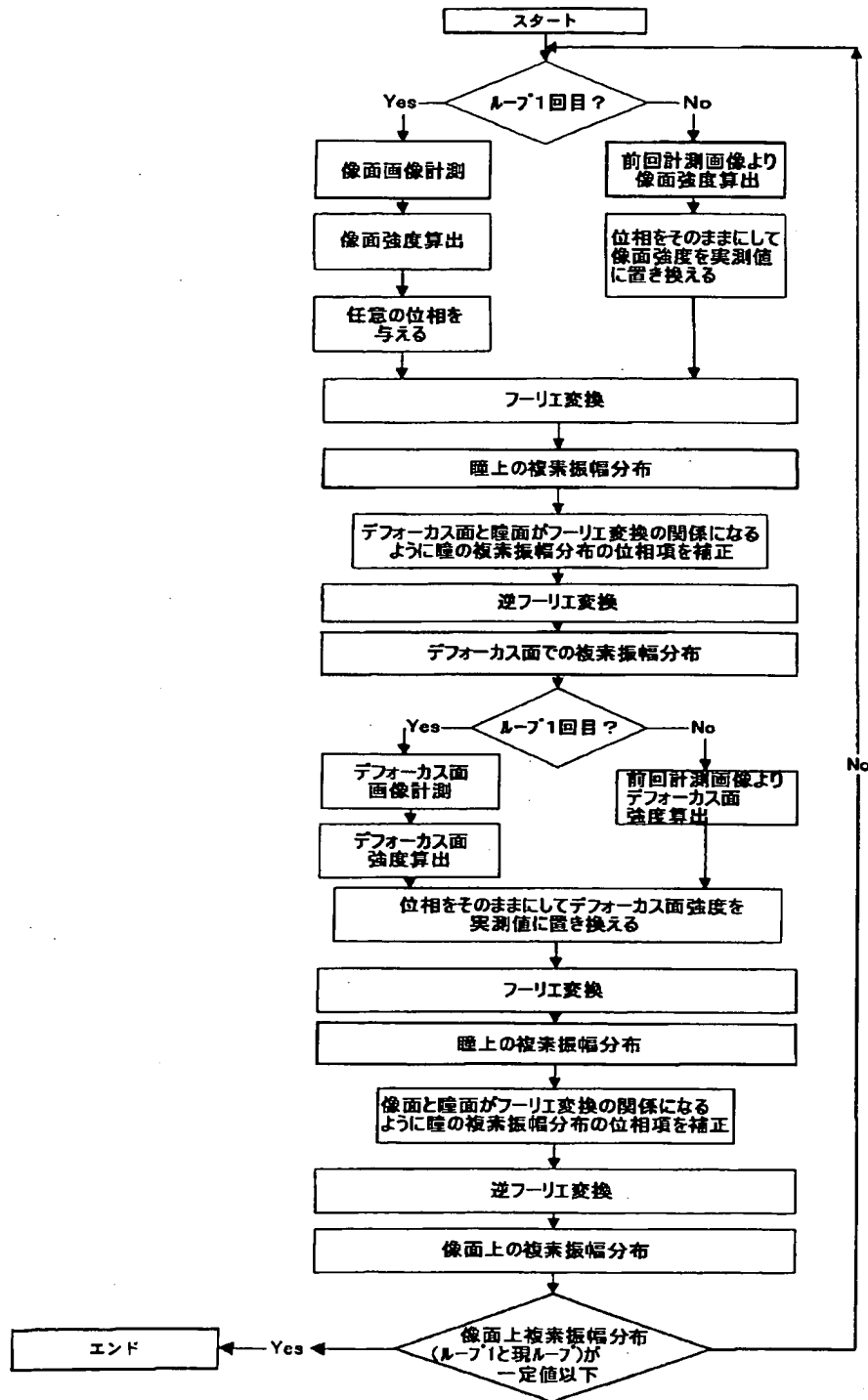
【図4】



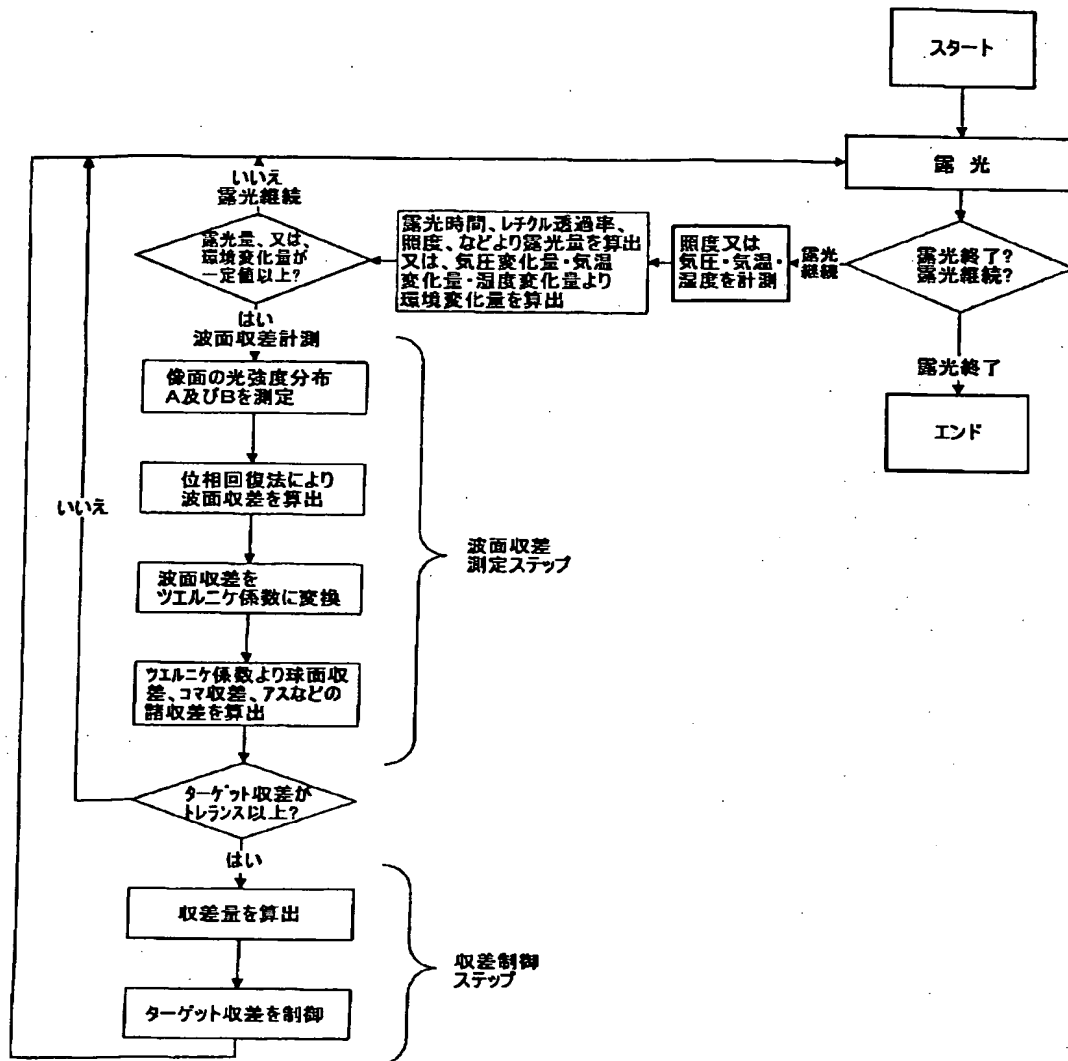
【図3】



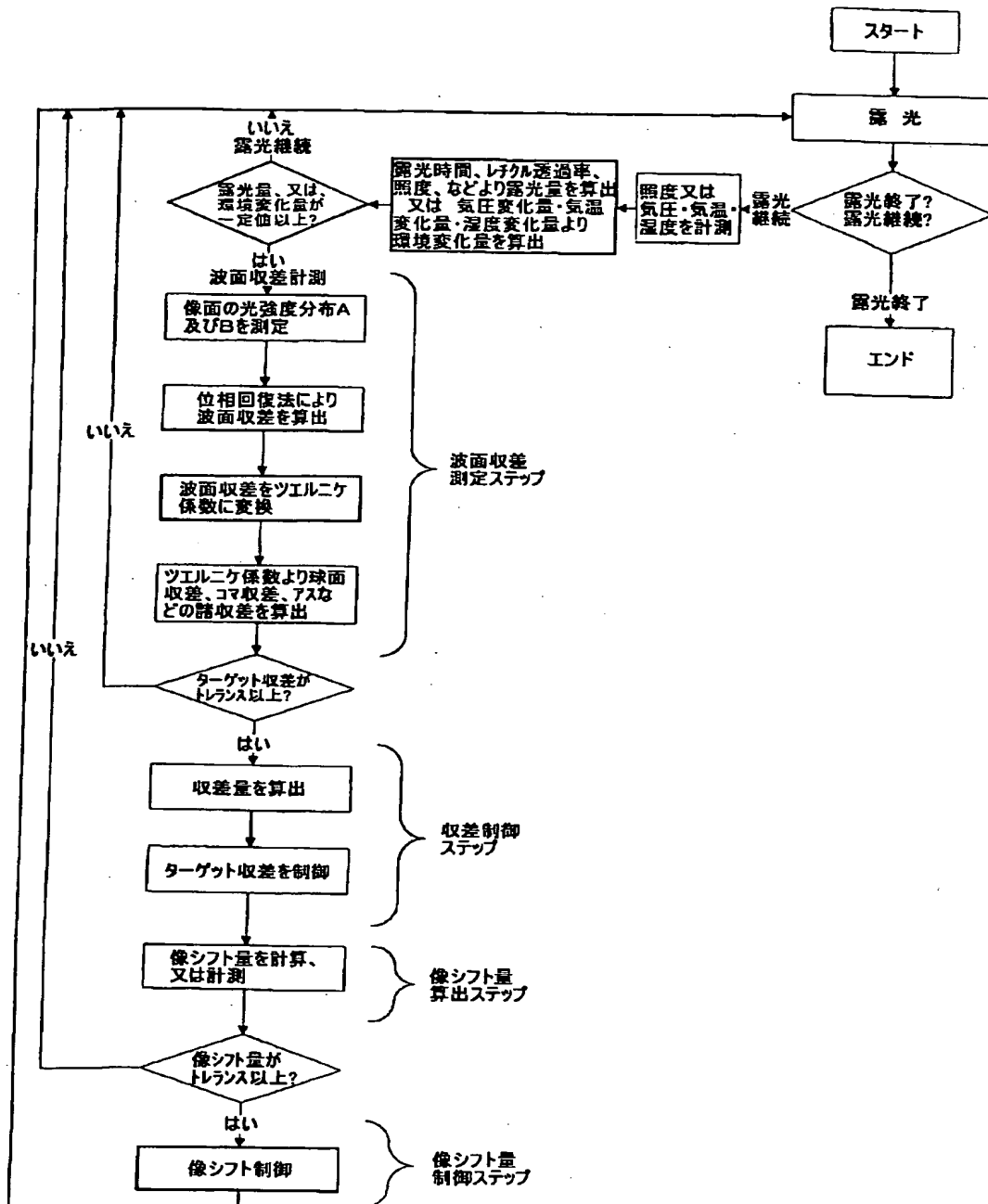
【図5】



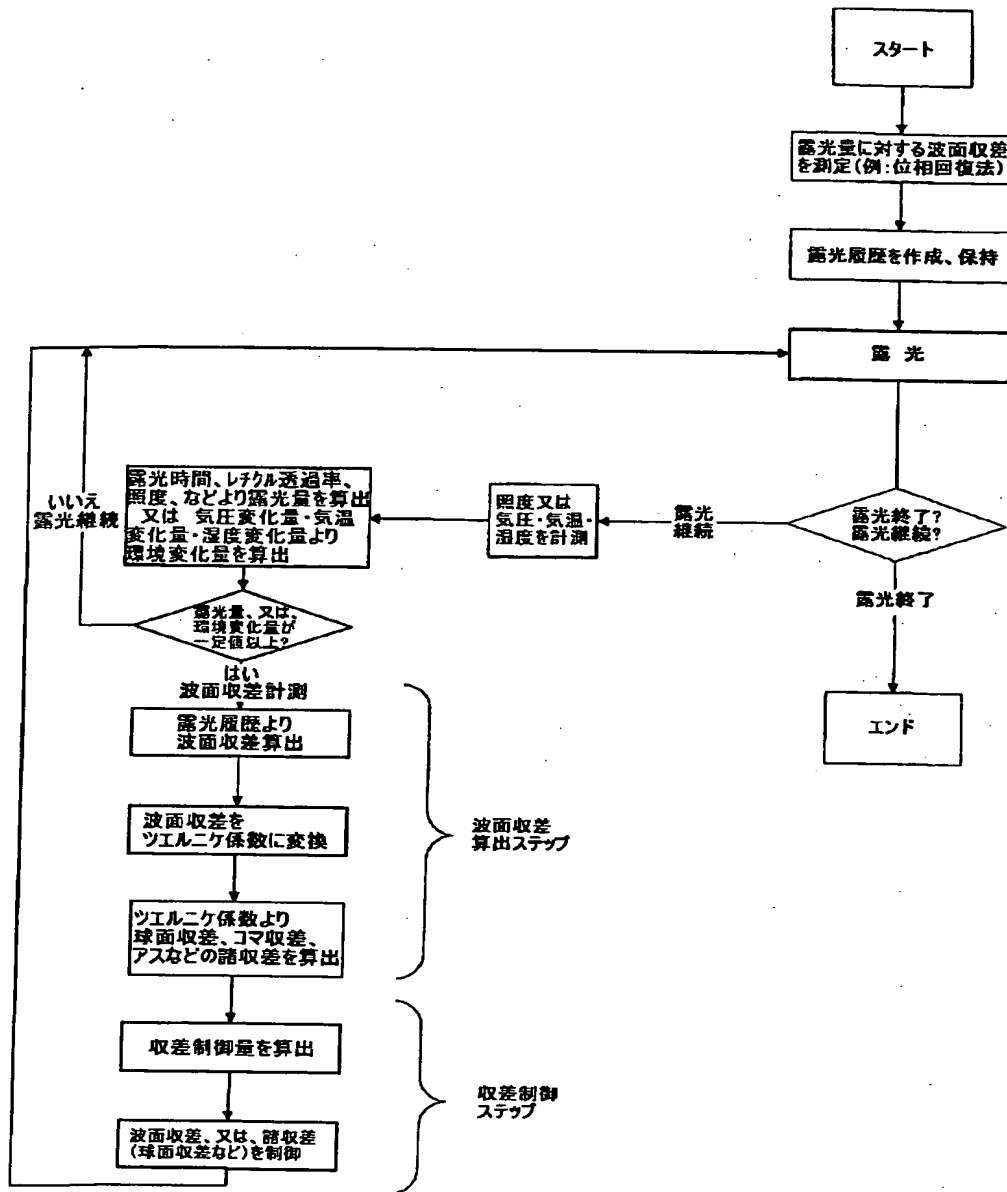
【図6】



【図7】

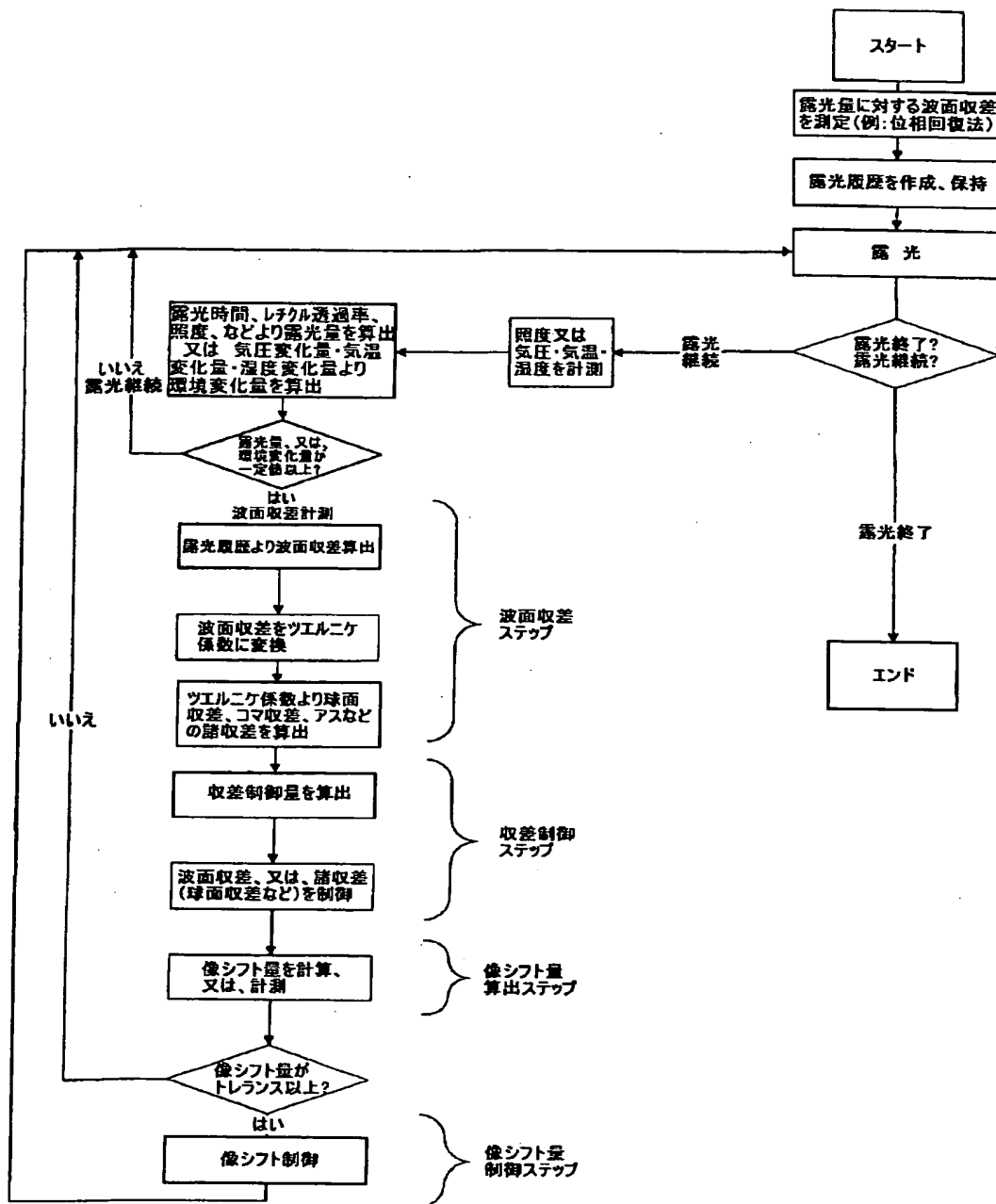


【図8】





【図9】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F046 AA22 BA04 CA04 CB07 CB10  
CB19 CB25 CC01 CC03 CC05  
DA01 DA02 DA05 DA13 DA14  
DA26 DA27 DB01 DB05 DC09  
DC12

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**